

AUS DER POLIKLINIK FÜR ZAHNERHALTUNGSKUNDE
DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN DER
JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT MAINZ

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG
RICHTUNGSABHÄNGIGER UNTERSCHIEDE
IN DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON
EIN-, ZWEI- UND DREI DUESENKUEHLSYSTEMEN
ZAHNÄRZTLICHER WINKELSTÜCKE
IM HÖCHSTTOURENBEREICH

INAUGURALDISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE DES DOKTORS DER ZAHNHEILKUNDE
DER JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT IN MAINZ
DEM FACHBEREICH MEDIZIN VORGELEGT
VON

MATTHIAS PAHLEN

AUS CHEMNITZ

MAINZ 1981



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik fuer Zahnerhaltungskunde
der Klinik fuer Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Johannes Gutenberg-Universitaet Mainz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG
RICHTUNGSABHAENGIGER UNTERSCHIEDE
IN DER LEISTUNGSFAEHIGKEIT VON
EIN-, ZWEI- UND DREIUESENKUEHLSYSTEMEN
ZAHNAERZTLICHER WINKELSTUECKE
IM HOECHSTTOURENBEREICH

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Wuerde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universitaet in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt
von

MATTHIAS PAHLEN

aus Chemnitz

Mainz 1981

Dekan : Professor Dr. med. H. LEITHOFF

1. Gutachter : Professor Dr. med. dent. F. LAMPERT

2. Gutachter : Professor Dr. med., Dr. med. dent. W. KETTER

Tas der Muendlichen Pruefung: 20. Mai 1981



MEINEN ELTERN GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	
1.1.	Vorwort.....	7
1.2.	LITERATURUEBERSICHT	
1.2.1.	Abriß der Entwicklung dentaler Bohrantriebe...	9
1.2.2.	Problematik des hoch- und hoechsttourisen Schleifens.....	12
1.3.	Aufgabenstellungen.....	22
2.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	
2.1.	DURCHFUEHRUNG DER VERSUCHE	
2.1.1.	Pruefapparatur.....	32
2.1.2.	Methodik der Temperaturmessung.....	38
2.1.3.	Versuchsablauf.....	42
2.2.	VERSUCHSREIHE 1	
2.2.1.	Versuchsaufbau.....	45
2.2.2.	Moeslichkeiten und Grenzen der Versuchsanparatur.....	49
2.2.3.	Ergebnisse der Pruefkoerpervermessung.....	51
2.2.4.	Ergebnisse der Versuche.....	55
2.3.	VERSUCHSREIHE 2	
2.3.1.	Versuchsaufbau.....	83
2.3.2.	Moeslichkeiten und Grenzen der zweiten Versuchsanparatur.....	90
2.3.3.	Ergebnisse der Pruefkoerpervermessung.....	91
2.3.4.	Ergebnisse der Versuche.....	95
3.	DISKUSSION.....	124
4.	ZUSAMMENFASSUNG.....	127
5.	LITERATURVERZEICHNIS.....	129
6.	LEBENS LAUF.....	137

1.1.

VORWORT

1.1.1.

Danksagung

Herrn Professor Dr. F. LAMPERT gilt mein ganz besonderer Dank fuer die Ueberlassung des Themas dieser Arbeit, sowie fuer seine jederzeit freundliche Unterstuetzung waehrend ihrer Anfertigung.

Ebenso darf ich Herrn Professor Dr. Dr. W. KETTERL fuer die materielle Foerderung meiner Arbeit und seinen Taetigkeit als Gutachter danken.

Die Firma SIEMENS AG, Bensheim, stellte freundlicherweise die Versuchsanordnung und einen Teil der Winkelstuecke zur Verfuegung. Ferner wurden hier die Antriebskoerper gedreht und auf meine Anregungen hin entsprechende Verbesserungen an der Versuchsanordnung verwirklicht. Herrn Dipl. Ing. E. HOHMANN sei fuer seine Hilfsbereitschaft und seinen Rat besonders gedankt.

Die Firma KALTENBACH & VOIGT, Biberach, stellte weitere Winkelstuecke zur Verfuegung und ueberliess mir Schnittzeichnungen ihres Winkelstuecks zur Publikation. Herr EIBHOFNER hat mich in dankenswerter Weise bei meiner Arbeit unterstuetzt.

Die Firma MICRO-MEGA, Bad Homburg und Genf, stellte ebenfalls Winkelstuecke und Schnittzeichnungen fuer die Versuche zur Verfuegung. Den Herren WALDMANN und REUBER sei fuer ihre Betreuung gedankt.

Nicht zuletzt fertigte schliesslich auch das DENTALWERK BUERMUOS (W & H), Buermuos bei Salzburg, eine Schnittzeichnung fuer diese Arbeit an und ueberliess mir Winkelstuecke fuer die Dauer der Versuche. Die Herren BUCHSTEINER und MALATA haben mich in dankenswerter Weise unterstuetzt.

Die Firma HAGER & MEISINGER, Duesseldorf, stellte fuer die zweite Versuchsreihe die Diamantschleifkoerper zur Verfuegung. Die Herren BAYER und BAHRO unterstuetzten mich vorbildlich, wofuer ich mich besonders bedanke.

Herr KOHLHAAS aus der Prothetischen Abteilung der Zahnklinik unterstuetzte mich bei den alltaeglichen kleinen Problemen und erstellte den Messverstaerker fuer die zweite Versuchsreihe. Ihm sei an dieser Stelle dafuer gedankt.

Bei Frau IMS, der technischen Zeichnerin der Zahnklinik, bedanke ich mich fuer die Anfertigung der beiden Zeichnungen der Versuchsanordnung (Abb. 8 und 9).

Die Herren H. WELGE-ELBERSKIRCH und A. DRIPKE unterstuetzten mich mit ihrem Rat beim Schreiben der EDV-Programme fuer diese Arbeit. Ihnen sei dafuer herzlich gedankt.

1.1.2.

Zu dieser Arbeit

Im Verlauf dieser Arbeit wurden 1050 Werte aus der Brustkoerpervermessung und 2400 Messwerte aus den eigentlichen Versuchen gewonnen, aus denen 3150 Temperaturdifferenzen berechnet werden sollten.

Es standen somit 6600 Daten zur Beurteilung der durchgefuehrten Versuche an. Aus ihnen sollte 1200 mal auf verschiedene Art und Weise Mittelwert und Standardabweichung berechnet werden. Fuer diese Berechnungen sind 19200 meist dreistellige Zahlen zu verwenden, um die 2400 Werte von Mittelwert und Standardabweichung zu erhalten. Schliesslich waren damit 6600 Daten plus 2400 Ergebnisse, also 9000 Zahlen in Tabellen zusammenzustellen.

Man erkennt an Hand dieser Beispiele, welchen Aufwand allein die Auswertung der Versuche in Anspruch nimmt. Aus diesem Grunde habe ich mich entschlossen, bei der Auswertung der Versuche die Vorteile der elektronischen Datenverarbeitung fuer meine Zwecke zu nutzen. Das aeuessere Bild dieser Arbeit wurde dadurch entscheidend verbessert.

Unseruenslich war nur an einen Ausdruck der Messwerte und der Ergebnisse gedacht. Bei der Berechnung der Ergebnisse und dem Ausdruck der Tabellen kamen selbst entwickelte, in der Computersprache 'Basic' beschriebene Programme zur Anwendung. Schliesslich bot sich das vorhandene System aber auch als sinnvolles und dankbares Hilfsmittel bei der Textverarbeitung an.

Es wurde mit den Microcomputersystemen CBM 2001 und CBM 3032 (Commodore Business Machines) gearbeitet. Ferner wurden als Peripheriegeraete eine CBM 3040 - Floppy disk - Station als Massenspeicher und ein CBM 3022 - Tractor-printer zur Ausgabe der Handcopies verwendet.

Da diese Gerate im anslo-amerikanischen Sprachraum entwickelt wurden, beruecksichtigen sie bei der Textedition leider nicht die deutschen Umlaute und das deutsche "sz". Ebenso koennen die Unterlaessen mancher Buchstaben (z. B. "a" oder "p") nicht wiedergegeben werden. Eine Umstellung der Gerate war in der Zeit, als die Arbeit beschrieben wurde, nicht ohne weiteres moeglich.

Die genannten Buchstaben konnten deshalb in dieser Arbeit nur in der Schreibweise als Doppelbuchstabe dargestellt werden.

Der Leser wird insofern um entsprechendes Verstaendnis gebeten.

1.2.

LITERATURUEBERSICHT

1.2.1.

Abriss der Entwicklung dentaler Bohrantriebe

Ueber viele Jahrhunderte hinweg waren handgetriebene Instrumente das einzige Mittel zur Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen. Bereits 5000 v. Chr. soll es in Indien zahnaerztliche Instrumente aus Stahl gegeben haben. Archaisenes wird 100 n. Chr. die Verwendung eines Trepanns zugeschrieben. Erst im 18. und 19. Jahrhundert werden Gearsets benutzt, die es erlauben, die Zahnhartsubstanzen effektiver zu bearbeiten. Als Meilensteine dieser Entwicklung koennen die Einfuehrung einer Fusstrittbohrmaschine 1790 durch J. Greenwood und 1871 durch J. B. Morrison sowie die Verwendung eines Elektromotors zum Antrieb eines zahnaerztlichen Winkelstuecks durch G. F. Green im Jahr 1856 gewertet werden. (REICH, 55)

Schwierigkeiten in der Fertigungstechnik und die hohen Anforderungen an Material und Praezision liessen bis in die Mitte unseres Jahrhunderts keine bahnbrechenden Neuerungen auf dem Gebiet dentaler Bohrantriebe zu. Sogar bis in das Jahr 1952 wurden sowohl in den USA als auch in Deutschland noch Fusstrittbohrmaschinen regulaer zum Kauf angeboten (REICH, 55).

Neue Wege wurden durch den Turbinenantrieb beschritten. Ivan Norlen beschrieb 1948 eine Luftturbine und Nelson 1952 eine Miniaturwasserturbine. Ihren endgueltigen Durchbruch fand diese Antriebsart aber 1957 durch den Borden Airrotor. Zwischenzeitliche Versuche, Sandstrahlseklasee (1950) und Ultraschallinstrumente (1955) zur Bearbeitung von Schmelz und Dentin zu verwenden, konnten sich nicht in der Praxis durchsetzen. (FUHR, 17; REICH, 55)

Die dentalen Elektroantriebe fanden schliesslich 1965 durch den Mikromotor einen weiteren Fortschritt. (GARNIER u. HOHMANN, 19; HALLER, 21)

Lange Zeit konnten mit elektrischen Bohrmaschinen nur Drehzahlen bis etwa 2000 U/min. erreicht werden. Durch entsprechende Uebersetzungen, etwa durch Riemenscheiben verschiedenen Durchmessers, wurden bis zum Beginn der Fuenfziger Jahre etwa 40000 U/min erreicht. 1955 waren mit dem Uebersetzungshandstueck von Kerr Drehzahlen bis 100000 U/min moeglich. (HALLER, 21)

Der Borden Airrotor erreichte anfangs 300000 U/min, spaetere Entwicklungen kugelselasteter Turbinen drehten mit etwa 450000 U/min und luftgelastete Turbinen (Air-Orbit) erreichten sogar bis zu 600000 U/min (Leerlaufdrehzahlen). (HALLER, 21)

Sinn dieser Entwicklung in Richtung auf höhere Drehzahlen war die Erhöhung der Bohr- bzw. Schleifausbeute pro Zeiteinheit, die innerhalb gewisser technischer ("ideale lineare Geschwindigkeit", CLAESSENS, 6) und physiologischer Grenzen (thermische Pulverschädigungen, s. 1.2.2.) erzielt werden kann. Zusätzlich konnten die durch Bohr- und Schleifinstrumente auf den Zahn übertragenen unangenehmen bis schmerzhaften Vibrationen in einen nicht mehr wahrnehmbaren Frequenzbereich verlegt werden (FUHR, 17; MUELLER, 41; WALSER, 69; WALSH u. SYMMONS, 70).

Die zur Zeit verwendeten dentalen Antriebe erlauben Drehzahlen von etwa 50 - 450000 U/min.

Die Drehzahlen bis etwa 120000 U/min koennen mit den heute weit verbreiteten Mikromotoren verschiedener Hersteller realisiert werden. Da die Motoren nur in einem Bereich von 4000 - 40000 (HALLER, 21) bzw. 6900 - 43000 U/min (SIMON, 59) arbeiten, sind spezielle Winkelstuecke mit entsprechender Ueber- bzw. Untersetzung erforderlich. (GARNIER u. HOHMANN, 19; HALLER, 21; REICH, 55; SIMON, 59). Die an das Bohr- oder Schleifinstrument abgegebene Leistung betraegt je nach Drehzahl und Anpressdruck zwischen 3 und 30 Watt (GARNIER u. HOHMANN, 19).

Zu den Drehzahlangaben fuer Turbinen muss erwaeht werden, dass sie nur ungefaehre Werte darstellen koennen, da aus verschiedenen Gruenden eine erhebliche Variationsbreite gegeben ist. Sie beruht zunaechst auf konstruktiven Gegebenheiten, wobei insbesondere luftgeladene Turbinen in der Regel hoehere Leerlaufdrehzahlen erreichen als kugelseladene (REICH, 56). Weiterhin haben fertigungstechnische Streuungen einen bemerkenswert hohen Einfluss. Nach HAHNE (20) koennen Turbinen aus der gleichen Fertigungsserie um bis zu 50 % verschiedene Leistungsmaxima aufweisen. Es darf daraus geschlossen werden, dass sich die unterschiedliche Leistungsfaeheigkeit auch auf die Drehzahlen auswirkt, die unter sonst gleichen Bedingunsen erreicht werden koennen.

In Abhaengigkeit von den verwendeten Praeparationsinstrumenten werden die Turbinen nach Untersuchungen von EICHNER (publiziert 1966, zit. bei REICH, 56) gegenueber ihrer Leerlaufdrehzahl ohne eingespanntes Instrument um 20 - 50 % durch die Luftreibung am Bohrer oder Schleifer abgebremst. Neuere Messungen von SIMON (59) aus dem Jahre 1979 koennen jedoch nur Drehzahlunterschiede von hoechstens 10000 U/min bei verschiedenen, in die Turbine eingespannten Instrumenten feststellen, und dies auch nur bei Turbinen ohne sog. Torque (torque, engl. = Drehmoment). Durchzugskraft bei Torque-Turbinen nach SIMON etwa 1/3 hoeher). Durch den Wasser- oder Spraystrahl zur Kuehlung von Instrument und Praeparationsstelle duerften die Turbinen allendings noch etwas weiter abgebremst werden.

HÄHNE (20) gibt als typische Werte fuer Turbinen eine Leerlaufdrehzahl von 400000 U/min und eine Leistungsabgabe von 4 - 5 Watt an. Der Arbeitsbereich liegt nach seinen Angaben zwischen Leerlaufdrehzahl und halber Leerlaufdrehzahl. Das maximale Drehmoment fand er bei der halben Leerlaufdrehzahl, er erreichte diesen Punkt bei 200000 U/min und 72 g Anpresskraft (zylindrischer Diamant 4 mm lang, 1.1 mm Durchmesser, Elfenbeinruefkoerper, Spraeberieselung).

Die Turbinen decken also einen Drehzahlbereich von etwa 165000 - 450000 U/min ab (REICH, 55; SIMON, 59).

Mikromotor und Turbine haben in den letzten Jahren ihre gleichzeitige Daseinsberechtigung in der Praxis bewiesen (REICH, 55). Niedrige Drehzahlen sind z. B. fuer die Endodontie, kuelpennahe Preperationen und das Finieren unverzichtbar. Zukuenftige Entwicklungen duerften sich deshalb vor allem auf dem Gebiet der Bedienungsfreundlichkeit, der Handlichkeit und Haltbarkeit auswirken.

Turbinen werden dem Wunsche des Praktikers nach einer moeglichst hohen Zerkuenungsleistung pro Zeiteinheit gerecht und gehoeren somit zum zahnuerztlichen Alltags. SIMON (59) konnte in letzter Zeit eine Indikationsverschiebung zugunsten der Turbine beobachten.

Da die Technologie der Turbinen von Seiten des Materials und von Seiten der Fertigungsqualitaet an die Grenzen des derzeit Machbaren heranreicht (REICH, 55), ist eine weitere Entwicklung zu noch hoeheren Drehzahlen nicht zu erwarten und auch wegen der bereits erwaehten physiologischen Grenzen wenig sinnvoll.

1.2.2.

PROBLEMATIK DES HOCH- UND HOECHSTTOURIGEN SCHLEIFENS

1.2.2.1.

Der Einfluss physikalischer Faktoren

Die Moeglichkeit die Zahnhartsubstanzen durch die hoeheren Drehzahlen effektiver und unter Umstaenden auch schonender zu bearbeiten zeigte auch Schattenseiten. Bei der Zerspanung von Schmelz oder Dentin wird neben der erwuenschten mechanischen Trennarbeit auch Deformationsarbeit (Zahnoberflaeche und Spaene), Beschleunigungsarbeit (Spaene, Spray), Vibrationsarbeit (Zahn, Winkelstueck) und unerwuenschte, jedoch unvermeidbare Waermearbeit (Zahn, Spaene, Werkzeug, Spray) geleistet. (HAHNE, 20)

Die Ausbeute, d. h. die Trennarbeit wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu gehoeren die Art des Werkzeugs (Bohrer / Schleifer, Konstruktionsmerkmale bei Bohren, Korngroesse bei Diamantschleifern, Werkzeugsdurchmesser, -Material) sowie dessen Zustand (Abnutzungssrad, wirkungsvolle Spanabfuhr d. h. Spaene setzen die Schneiden nicht zu, zentrischer Lauf), Drehzahl, Vorschubkraft bzw. Anpressdruck gegen den Zahn, Groesse des Beruehrungskreisens des Werkzeugs mit dem Zahn, axiale oder radiale Arbeitsweise und nasses oder trockenes Arbeiten (Spanabfuhr).

Soweit diese Zusammenhaenge nicht ohnehin schon allgemein bekannt sind, kann auf folgende Publikationen verwiesen werden: CLAESSENS, (6): Drehzahl, Werkzeugsdurchmesser, DRAUSCH, (7): feuchtes oder trockenes Arbeiten; FECHNER, (11): Vergleich Schleifer - Bohrer - Fraesen, Drehzahl, Vorschubkraft, Waermeentwicklung; FIBIG, (12): Abnutzung, Vorschubkraft, Vergleich Bohrer - Diamantschleifer, Waermeentwicklung; FUHR, (13): Drehzahl, Vorschubkraft, nasses oder trockenes Arbeiten, Waermeentwicklung, jeweils bei Bohren, (15), (16), (17): Vorschubkraft, Drehzahl und andere Faktoren; KLOS u. ROTTKE, (31): Vergleich Bohrer - Diamantschleifer, Spanabfuhr, Waermeentwicklung; MUELLER, (41): Drehzahl, nasses Schleifen, Groesse des Beruehrungsradius, Waermeentwicklung; NENTWIG, (42): Schnittgeschwindigkeit, Vorschubkraft; OESTERLE, (43): Drehzahl, Vorschubkraft, Waermeentwicklung, trockenes oder nasses Arbeiten; PANGIDIS, (45): Drehzahl, Vorschubkraft, Waermeentwicklung, trockenes oder nasses Arbeiten; PEYTON, (46): Drehzahl, Vorschubkraft, Waermeentwicklung; PEYTON u. HENRY, (48): Drehzahl, Vorschubkraft, Instrumentendurchmesser, Werkzeugzustand; POLMAN-MOOY, (51): Waermeentwicklung, Vorschubkraft; SCHULZ, (58): Drehzahl, Vorschubkraft, Waermeentwicklung; STUEBEN u. HOPPE, (63): Vergleich Bohrer - Fraesen - Diamantschleifer, Waermeentwicklung; VIOHL, (68): Streuung der Abriebleistung von Diamantschleifern und WALTER u. LEINWEBER, (71): Drehzahl; WUPPER, (74): Drehzahl, Waermeentwicklung.

1.2.2.2.

Kuehlung

Durch anfaengliche Pulvenschaedisungen bei der Anwendung hoeherer Drehzahlen, setzte sich bald die Erkenntnis durch, dass eine Kuehlung von Zahn und Praeparationsinstrument solche Schaeden vermeiden werden koennen. Die Diskussionen und Untersuchungen zur Frage ob die Anwendung hoechster Drehzahlen, wie sie mit der Turbine erreicht werden koennen, verantwortbar ist und wie die damit verbundenen thermischen Probleme zu bewaeltigen sind, fanden vornehmlich von der Mitte der Fuenfziger bis in die Sechziger Jahre statt. Die teilweise kontroversen Auffassungen fuehrten zu zahlreichen Publikationen. An dieser Stelle sollen vorwiegend diejenigen genannt werden, die unseren heutigen Wissensstand dokumentieren.

Es konnte weitgehend uebereinstimmend festgestellt werden, dass steigende Drehzahlen und hoehere Vorschubkraefte (im Rahmen des Durchzuvermoegens der Turbinen) neben einer erhoehten Bohr- bzw. Schleifausbeute auch eine hoehere Waermeentwicklung nach sich ziehen. Bohr- bzw. Fraesinstrumente zeigten dabei eine geringere Waermeentwicklung als dismontierte Instrumente (FECHNER, 11; KLOS u. ROTTKE, 31; STUEBEN u. HOPPE, 63; WUPPER, 74). WUPPER fuehrt dies auf die groessere Kontaktflaeche der zahlreichen Diamantkoerner gegenueber den vergleichsweise wenigen Bohrerschnitten zurueck. STUEBEN und HOPPE konnten beim intermittierenden Bohren mit Hartmetallbohrern ohne Kuehlung in der Turbine sogar nur Temperaturerhoehungen um maximal 3 Grad Celsius messen. Sie fordern daher entgegen unserer heutigen Auffassung nicht unbedingt eine Kuehlung bei hoechsten Drehzahlen (63, 64). Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen fand PEYTON (47) eine steigende Waermeentwicklung in der Reihenfolge Diamant-schleifer - Hartmetallbohrer - Stahlbohrer.

Zur Frage der nassen oder trockenen Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen ohne Beruecksichtigung des Kuehleffekts bei nasser Arbeitsweise findet FUHR (13) bei Bohren, dass nasses Arbeiten, bezogen auf die Bohrausbeute leistungsmindernd sei. Dagegen erzielte PANGIDIS (45) bei Bohrversuchen in Amalgam mit Rosenbohrern aus Hartmetall unter Sprayberieselung kuereze Ausbohrzeiten. Bei Diamantschleifern bringt eine Wasser- oder Sprayberieselung eine Erhoehung der Schleifausbeute, da sich der Diamant nicht so leicht mit Spaenen zusetzen kann (FUHR, 17; MUELLER, 41).

1.2.2.3.

Beim Bohren und Schleifen auftretende Temperaturen

Zahlreiche Untersuchungen beschaeftigten sich mit der Frage, welche Temperaturen beim Bohren und Schleifen im Hoechst-tourenbereich zu erwarten seien und welche Auswirkungen sie auf die menschliche Pulpa haben.

Der Vergleich dieser Untersuchungen ist sehr schwierig bis unmöglich, da zu viele differierende Methoden angewandt wurden. Oft fehlen in den Publikationen wichtige Versuchsparameter, ohne die ein Vergleich nicht möglich ist. Sehr verschiedenartig ist auch das verwendete Versuchsmaterial: so wurden in vivo Versuche an Tieren (57, 73, 75), an extrahierten Tierzähnen (18), in vivo am Menschen (52, 63), an extrahierten menschlichen Zähnen (17, 20, 21, 25, 26, 31, 42, 49, 56, 71), an Prüfkörpern aus menschlichem Dentin (4, 11, 35, 51), an Elfenbeinprüfkörpern (4, 10, 11, 20, 31, 51), an Prüfkörpern aus Glas (2, 41), an Prüfkörpern aus Kunststoff (13, 21), an Prüfkörpern aus Silikat- oder anderen Zementen (12, 13) und an Amalgamprüfkörpern (43, 45) durchgeführt.

Zur Frage, in welcher Größenordnung beim Bohren oder Schleifen Temperaturerhöhungen zu erwarten sind, seien hier einige wenige Untersuchungsergebnisse aufgeführt. FUHR (14) stellte bei der Präparation von 3,5 mm tiefen Kavitäten mit diamantierten Instrumenten in der Turbine eine Temperaturerhöhung von 14,5 °C unter Spray und 112 °C ohne Kühlung fest. In einer anderen Untersuchung (17) fand er bei Mundtemperatur (34 °C), einem Andruck von 180 p bei diskontinuierlicher Arbeitsweise unter Kühlung Temperaturerhöhungen von maximal 7 °C.

HAHNE (20) führte mit diamantierten Instrumenten in der Turbine Versuche an Elfenbein und an extrahierten menschlichen Zähnen durch. Bei dem Elfenbein traten unter kontinuierlicher Arbeitsweise mit 72 p Andruck unter Sprayskühlung in 0,3 mm Entfernung von der Schleifstelle beim Eindüsespray Temperaturerhöhungen bis zu 28 °C (Anfangstemperatur 28 °C) und beim Zweidüsespray Erhöhungen um 7 °C (Anfangstemperatur 30 °C) auf. Die Versuche an Zähnen fanden unter klinischen Bedingungen statt (tupfende Arbeitsweise, geringer Andruck). Beim Anlesen zentraler Kavitäten wurden bei 0,2 - 0,1 mm Wandstärke von HAHNE beim Eindüsespray 3 °C und beim Zweidüsespray 2 °C gemessen.

HALLER (21) stellte an menschlichen Zähnen in 5 mm Entfernung von der Schleifstelle bei 120000 U/min sowie 180 p und 200 p Andruck (vermutlich unter Spray) mittlere Temperaturerhöhungen von 19,1 °C und 21,6 °C fest.

HOFMANN (26) durchschliff mit Diamantkugeln von 1,5 mm Durchmesser ohne Kühlung 1 mm dicke Dentinscheiben und fand an der Schleiffläche Temperaturen von 80 - 100 °C. Bei 3,5 mm dicken Dentinscheiben traten Temperaturen bis zu 290 °C auf.

MAEGLIN (37) ermittelte am Pulpendach in 1,2 mm Entfernung vom Kavitätenboden bei Trockenpräparation 8,5 - 9 °C und bei Nasspräparation 5,3 - 5,7 °C Temperaturerhöhungen.

POLMAN-MOORE (51) rechnet nach seinen Schleifversuchen an Dentin und Elfenbein am vitalen Zahn bei 0,5 mm verbleibender Dentinschicht am Pulpendach mit Temperaturanstiegen von 2,5 - 5,5 °C am Pulpendach, wenn mit Spray- oder Wasserstrahlkühlung gearbeitet wird.

SCHUBERT (57) mass in der Zahnpulpa von narkotisierten Hunden bei Ausgangstemperaturen von 26 - 32 °C bei der Anwendung von Spray-Temperaturerhöhungen um durchschnittlich 3 °C und bei Luftkühlung Erhöhungen auf bis zu 41,5 °C.

SCHULZ (58) fuhrte Versuche an extrahierten menschlichen Zähnen durch, die u. a. einen Vergleich von Turbinen mit mikromotorgetriebenen Winkelstücken zum Ziel hatten. Erwähnt sei von den zahlreichen Kavitationskavitationen die Temperaturerhöhung von 3 °C bei 100000 U/min und 100 p Andruck. Dieser Wert ist insofern interessant, da gleiche Umdrehungszahl und gleicher Andruck auch bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit verwandt wurden.

WHEATCROFT, HARTNETT und SMITH (73) stellten bei Präparationen an Hundeeckzähnen unter Spray-Temperaturerhöhungen um 8 °C, ohne Kühlung um 93 °C, sowie bei verstärktem Andruck und ohne Kühlung um 260 °C fest.

Zusammenfassend darf also bei kunstgerechter, intermittierender Arbeitsweise unter Spray- oder Wasserkühlung mit einem Temperaturanstieg um weniger als 10 °C, in der Regel sogar um weniger als 5 °C berechnet werden.

1.2.2.4.

Thermische Toleranz der menschlichen Zahnpulpa

In diesem Zusammenhang interessiert natüelich die Frage, welche Temperaturen die menschliche Zahnpulpa ohne bleibende Schäden verträgt. Aus histologischen Untersuchungen weiss man, dass ein unzulässiger Temperaturanstieg in der Pulpa durch mangelhafte Kühlung und / oder falsches Vorgehen beim Präparieren typische Veränderungen im mikroskopischen Bild hinterlassen, so dass man zeitweise sogar von sogenannten "Rirrotorpulpen" sprach.

Stellvertretend fuer die zahlreichen histologischen Untersuchungen (DAUSCH, 7; HUNKIRCHEN, 28; KETTERL, 29; LANGELAND, 34; MAEGLIN, 37; MUELLER, 40; PEYTON, 46; POHTO u. SCHEININ, 52; RAUBER, 54; RIETHE, 56; STEIN, 60; STUEBEN u. HOPPE, 64; TITKEMEYER, 66; VAN DE WAA, 67; WEDER, 72; ZACH u. COHEN, 75) seien hier die Ergebnisse von RATEITSCHAK, KOENIG und MUEHLEMANN (53) genannt. Sie fanden mit abnehmender Häufigkeit folgende Veränderungen:

- Vakuolen in der Odontoblastenschicht
- unscharfe Begrenzung der Odontoblastenschicht
- Kapillaren in der Odontoblastenschicht
- Verlesung der Odontoblastenkerne in die Dentintubuli
- Vakuolen im Pulpaewebe
- haemorrhagische Herde
- Rundzellen oder Leukozyteninfiltrate
- histiozytäre Reaktionen
- degenerative nekrotische Veränderungen
- Hydrops

Bei welchen Temperaturen muss mit Veraenderungen des Pulpen-
gewebes gerechnet werden? Weitgehende Einigkeit herrscht
darueber, dass spaetestens ab 52 - 56 °C mit irreversiblen
Pulpaeschaden gerechnet werden muss (DE APRILE, 1; FUHR, 14;
HENSCHEL, 22; Mueller, 40; NENTWIG, 42; PEYTON, 46; TITKE-
MAYER, 66; VAN DE WAA, 67). Bei diesen Temperaturen setzen
bei den hitzeempfindlichen proteinhaltigen Zellbestandteilen
Denaturierungs- und Depolymerisationsvorgaenge ein. Nach
RAUBER (54) ist aber nicht nur die damit verbundene Desor-
ganisation der feineweblichen Mikrostrukturen als direkte
Hitzewirkung, sondern auch die Bildung toxischer Abbaup-
rodukte, die etwa aus ueberhitztem Dentin in Richtung Pulpa
diffundieren, als indirekte Hitzewirkung fuer die Pulpa-
schaden verantwortlich zu machen. Das impliziert, dass im
Sinne einer schonenden Behandlung nicht nur eine schaedliche
Erwaermung des Pulpengewebes, sondern auch jede thermische
Schadigung des Dentins bei seiner Bearbeitung zu vermeiden
ist.

Eine Reihe von Autoren gibt niedrigere Temperaturen an, bis
zu denen die Pulpa ohne bleibende Schaeden belastet werden
kann. So nennt HOFMANN (25) 50 °C, BODENMUELLER u. CASTAGNOLA
(3) ebenso wie CLAESSENS (6) 45 °C. KLOS u. ROTTKE (31)
stellen fest, dass Temperaturen von 47 °C in Pulpaennahe
einwandfrei zu irreversiblen Pulpaeschadigungen fuehren.
Auch 42,5 °C liesen fuer sie "ueber der fuer das Pulpengewebe
vertraeslichen Grenze". Der Bereich von 39 - 40 °C wird von
ihnen als "kritische Grenze" angesehen. Auch SCHUBERT (57)
berichtet bei Temperaturen von 41,5 °C, dass diese "ausrei-
chend sein duerften, um eine Zellschadigung der Pulpa
hervorzurufen".

Aufschlussreich sind auch die Untersuchungen, die korrespon-
dierende Temperaturen zwischen Zahnoberflaeche und Pulpa-
raum ermitteln.

ZACH u. COHEN (75) massen die intrapulpaale Temperatur bei
Hitzeinwirkung an der Zahnoberflaeche an Zaehnen einer
Kieferhaelfte von Macaca-Rhesusaffen und setzten dann die un-
verletzten kontralateralen Zaehne den gleichen thermischen
Reizen aus. Die Zaehne wurden dabei nur 'thermischem Stress'
ausgesetzt, es wurde weder gebohrt noch geschliffen, die
Zaehne waren ueberdies kariesfrei. Nach 2, 7, 14, 56 und 91
Tagen wurden die Zaehne extrahiert und histologisch
untersucht.

Bei einer Temperaturerhoehung um 2,2 °C (4 °F) wurde ledig-
lich geringfuesige Vakuolenbildung bemerkt. Eine Erwaermung um
5,6 °C (10 °F) liess Pyknosen, Aspirationen von Odonto-
blastenkernen, Hyperaemien und spaeter Sekundaerdentinbildung
auftreten. Bei 15 % der untersuchten Zaehne traten Nekrosen
auf. Dabei handelte es sich insbesondere um kleinere Zaehne.
Alle uebrigen zeigten nach 56 Tagen eine restitutio ad inter-
num. Wurden die Pulpen um 11,1 °C (20 °F) erwaermt, so wurden
60 % davon nekrotisch bzw. gangraenoes. Selbst nach 91 Tagen
wurde neben ausgetraeten Sekundaerdentinbildung eine Anzahl
hyperaemischer Pulpen beobachtet.

Eine Temperaturerhöhung um 16.7°C (30°F), die mit makroskopisch deutlich sichtbaren Brandmarken im Dentin einherging, wurde von allen Zähnen mit dem Pulventod innerhalb von zwei Tagen beantwortet. Nimmt man eine Mundtemperatur von 34°C an (wie z. B. bei FUHR, 17), so reichen nach diesen Untersuchungen bereits Temperaturen von 45°C aus um mehr als die Hälfte der Zähne allein durch die erhöhte Temperatur irreversibel zu schädigen. Treten diese Temperaturen beim Bohren oder Schleifen auf, so ist mit einer höheren Quote zu rechnen, da der Ausgangszustand der Pulpa (Karies, Füllungen, mechanische Einflüsse durch die Präparation) nach WEDER (72) einen Einfluss auf ihre thermische Toleranz, d. h. auf das Ausmass der Veränderungen ausübt.

HENSEL u. MANN (23) fanden Kälte- bzw. Wärmeschmerz bei äusseren Reiztemperaturen unter 27°C bzw. ueber 45°C und sehen davon aus, dass extremere Temperaturen als schädlich fuer die Pulpa anzusehen sind.

FUHR (16, 17) erwahnt Untersuchungen von POHTO u. SCHEININ (52) mit thermischen und histologischen Beobachtungen an lebenden Zahnpulven, die zum Ergebnis hatten, dass zwischen 42 und 44°C Steigerungen der Permeabilität und Odeme, ueber 44°C eine erhöhte Aggregationsneigung der Erythrozyten und ueber 46°C Stase und Thrombose mit Verschluss der Gefässlichtung auftreten.

KETTERL (29) gibt ein Diagramm nach ONTRUP wieder, demzufolge ein Kälteschmerz bei einer Temperatur unter 26.4°C an der Schmelz-Dentin-Grenze empfunden wird, was einer intrapulpalen Temperatur von 35.8°C entspricht. Analog dazu wird ein Wärmeschmerz bei mehr als 47.7°C bzw. 36.6°C empfunden. Dieser Wert erscheint vor dem Hintergrund einer normalen Körpertemperatur von 37°C bemerkenswert.

Aber auch PEYTON u. HENRY (48) beobachteten ab einer Temperatur von 37.8°C (100°F) in der Pulpa Irritationen ("discomfort") und zumindest temporäre Schäden an den Zahnseweben. Eine mögliche Erklärung fuer diese niedrigen Werte mag sein, dass die zu untersuchenden Zähne durch längeres Öffnen des Mundes vor den Messungen an ein niedrigeres Temperaturniveau gewöhnt waren und der "Thermofuehler Pulpa" bei einer schnellen Temperaturerhöhung weniger eine proportionale, sondern eher eine differentiale Aufnahme charakteristisch aufweist und ein Temperatursprung auf "normale" Temperaturen bereits als schmerzhaft empfunden wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bereits ab einer intrapulpalen Temperatur von etwa 40°C mit Pulpaenschäden zu rechnen ist (75, 31, 57). Wann diese Temperatur in der Pulpa erreicht wird, haengt u. a. von der Grosse des betroffenen Zahnes (75) und von der ueber der Pulpa verbliebenen Dentinschicht ab. Die Widerstandskraft der Pulpa gegen thermische Einflüsse wird durch eine eventuelle Vorschädigung durch andere Noxen beeinflusst (72).

1.2.2.5.

Kuehlmedium

Bei der Frage, welche Kuehlung bei hoechsttourigen Bearbeitungen der Zahnhartsubstanzen anwendbar sei, bot sich zunaechst einmal die anfaenglich noch am Turbinenkopf austretende Antriebsluft der Turbinen an. Es zeigte sich aber bald, dass die Luft von allem wegen ihrer geringen Waermekapazitaet als Kuehlmedium wenig geeignet war (PEYTON, 47; SCHUBERT, 57; MUELLER, 41). Zudem wurden Bedenken wegen der Verwendung der oelhaltigen Antriebsluft in der Mundhoehle wegen moeglicher Lungenschaedigungen laut. Schliesslich fand durch den Luftstrom eine Austrocknung der Dentintubuli statt, die allein schon ausreichte, Pulverschaden hervorzurufen (LANGELAND, 34; FUHR, 15; KETTERL, 29; STUEBEN u. HOPPE, 63; RIETHE, 56).

Wasser mit seiner hoeheren Waermekapazitaet konnte als reiner Wasserstrahl und mit Luft vermischt als Spray zur Kuehlung verwandt werden. Der reine Wasserstrahl erlaubt eine etwas bessere Sicht auf die Praeparationsstelle, muss allerdings recht genau auf Instrument und Kavitaet ausgerichtet sein (GRIGULL, 18). WUPPER (74) beschreibt zutreffend: "Beim Praeparieren tiefliegenden oder schwer zuganglichen Stellen trifft der Wasserstrahl nicht mehr das Arbeitsfeld und macht die Kuehlung unwirksam. ... Die Spraykuehlung ist ihrer Beitenwirkung wegen das verlaesslichste und angenehmste Verfahren."

Ausserdem wird beim Spray den Wassertropfchen eine hoehere kinetische Energie verliehen, was es erleichtert, den mit dem rotierenden Instrument mitgefuehrten Luftmantel zu durchbrechen und das Instrument zu treffen. Neu hinzutretendes Wasser kann dank seiner hoeheren Geschwindigkeit auch weniger durch das von dem vom Instrument abgeschleuderte Wasser behindert werden (LAMPERT, 33).

Die Frage, ob Spray- oder Wasserstrahlkuehlung wurde also in diesem Sinne im wesentlichen zu Gunsten des Sprays entschieden.

1.2.2.6.

Kuehlssysteme

Durchweg uneinheitlicher wird von verschiedenen Autoren und von der Industrie die Anzahl der notwendigen Sprayduesen beurteilt.

STUEBEN u. HOPPE (63, 64) halten hoechsttourige Praeparation auch ohne Kuehlung fuer vertretbar.

FECHNER (11) fasst die Ergebnisse ihrer Untersuchungen u. a. folgendermassen zusammen: "Unterschiedliche Kuehlssysteme bei den Turbinensetaeten haben keinen Einfluss. ... Ueberraschenderweise entstehen beim Bohren mit Turbinensetaeten keine nennenswerten Temperaturerhoehungen weder beim Anwenden von Kuehlung noch ohne Kuehlung."

HAHNE (20) stellt zwar unter experimentellen Bedingungen Unterschiede zwischen Ein- und Zweiduesenkuehlssystemen fest, konnte jedoch unter weitgehend klinischen Bedingungen diese Unterschiede nicht mehr registrieren.

WALTER u. LEINWEBER betrachten den Zweiduesen-Spray als "grossen Fortschritt".

MAEGLIN (37) beanstandet bei Einduesensystemen, dass der Zutritt des Sprays zur Bohrstelle durch Zahnform und Kavitaetenraender behindert wird.

PLISCHKA (50) wendet sich ebenfalls eindeutig gegen den Einduesenspray: "Bei langen Instrumenten genueht auch die Sprae-kuehlung aus einer Duese nicht. Einige alte Turbinenkoefte haben nur eine Spraeduese. In bestimmten Praeparationsstellungen ist dann das Instrument durch den Zahn selbst vor der Spraeduese abgeschiirmt und ungenuegend gekuehlt. Es sollte dann mit Handspray zusaetzlich bearbeitet werden. Schliesslich nuetzen auch mehrere Spraeduesen nichts, wenn das Wasser, als Sichthindernis empfunden, stark gedrosselt wird."

RAUBER (54) findet deutliche, graduelle Unterschiede zwischen Kuehlssystemen mit ein, zwei und drei Spraeduesen: "Trotz aller Vorsichtsmassnahmen erhaelt man erst mit einer Turbine, die 3 Spraeoffnungen besitzt, eine Dentinwand, die keine Hitzeveraenderung aufweist. Turbinen mit nur 2 Spraeduesen verursachen thermische Veraenderungen einzelner Dentin-gebiete, sind also nicht in der Lage, saemtliche Hitzeschaedigungen des Zahnbeins auszuschalten." Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass RAUBER toxische Abbauprodukte ueberhitzten Dentins fuer zusaetzliche Pulverschaedigungen verantwortlich macht.

STEIN (60) bemerkt bei seinen histologischen Untersuchungen u. a. breitere Bezirke veraenderten Gewebes an den Ecken zwischen Boden und Seitenflaechen von Kavitaeten bei Benutzung von Einduesenkuehlssystemen. Er fuehrt dies auf eine ungenuegende Menge Kuehlfluessigkeit an diesen Stellen zurueck. Nach Benutzung von zwei Kuehlduesen wird das veraenderte Gebiet "deutlich schmaeler und ist verschiedentlich unterbrochen". "Die Kuehlung mit dreistrahligem Spray bei Turbinenpraeparation ist die beste Kuehlmethode." Die Praeparation mit einstrahligem Spray setzt nach STEIN's Ausfuehrungen auch bei vorsichtiger Behandlungsweise eine sehr viel moessere Hitzeschaedigung als die mit drei Spraystrahlen.

SCHULZ (58) beobachtete bei seinen Versuchen, dass unter bestimmten Bedingungen (enge und tiefe Kavitaet) weder das blosses Einschalten des Sprays, noch die Anwendung geringer Vorschubkraefte ausreichend sei, um das Markkorsan weitgehend vor thermischen Schaeden zu bewahren. Diese Beobachtungen fanden unter Zweiduesenspray statt, bei dem in diesem Falle die Kavitaet zwar feucht war, aber die vorhandene Wassermenge im Praeparationsfeld zu gering, der Waermeaustausch unzureichend und somit der Abtransport heissen Materials nicht mehr gesehen war.

Zwischen einer und zwei Sprayduschen vergleichend, fuehrt SCHULZ aus: "... ausserdem ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Diamant von einem Spray- oder Kuehlwasserstrahl getroffen wird bei der Turbine anwachsen, da sie in aller Regel ueber ein Zwei-Duschen-Kuehlssystem verfuegt, waehrend am mikro-motorgetriebenen Winkelstueckkopf meist nur ein Kuehlwasserstrahl austritt." Zusammenfassend konstatiert SCHULZ: "... Waehrend der Darstellung einer Kavitaet darf der Spraystrahl nicht an der Zahnoberflaeche abprallen, so dass es trotz Anwendung einer Spraskuehlung zu einer trockenen Kavitaet kommen kann."

NENTWIG (42) weist darauf hin, dass die Beruehrungsstelle Beschleifinstrument - Zahn waehrend des Fraesservationsvorganges ungehindert vom Kuehlmittel erreicht und benetzt werden muss. Abgesehen von der Anwendung zu langer oder zu kurzen Instrumente ist dies seiner Ansicht nach besonders bei Winkelstuecken mit Einduesenspray nicht immer gewaehrleistet.

Die Hersteller von Winkelstuecken, die aus Gruenden der vereinfachten Herstellung, der damit geringeren Herstellungskosten, der vereinfachten Reinigung und nicht zuletzt wegen noch zu erlauternden hygienischen Ueberlesungen lieber Einduesenkuehlssysteme verwenden wuerden, versuchen einen Blick in die europaeische Zukunft, indem sie den US-amerikanischen Markt beobachten. Dort gibt es angeblich nur Einduesensysteme zur vollen Zufriedenheit aller Beteiligten. (z. B.: HOHMANN, 27; BAHRO, 2)

Dem Vernehmen nach soll diese Entwicklung in den USA vor allem auf schoerferere Hygiene-Vorschriften zurueckzufuehren sein. Waehrend auf dem hiesigen Markt abgesehen von Ausnahmen bzw. Neuentwicklungen die Sprayaufbereitung nach dem Mischkammer-Prinzip ueblich ist, wird in den USA nur die offene Spraeemischung erlaubt (siehe auch 1.3.5.).

Bei der Aufbereitung mit einer Mischkammer wird die Luft und das Wasser fuer den Spray in einer Mischkammer (beim Sirona-Motor z. B. auf das Ende des Bohrschlauchs aufgesteckt) zusammengebracht, vermischt und anschliessend gemeinsam zum Winkelstueckkopf befuehrt. Nach Abschalten des Motors tritt in den Versorungseinheiten ein Ruecksauventil in Aktion, das innerhalb von etwa 10 sec nach dem Abschalten 1.5 - 2.5 ml Spraywasser zuruecksaugt (HETZHEIM u. RITZ, 24; HOHMANN, 27), um ein Nachtropfen am Winkelstueck, verursacht durch laengeres Schrumpfen des Bohrschlauchs nach der Druckentlastung, zu vermeiden.

Auf diese Weise koennen Patientenkeime in die Mischkammer verschleppt werden und moeglicherweise sogar nach zwischenzeitlicher Vermehrung auf den naechsten Patienten uebertragen werden. Ausserdem soll es bei Betriebsstoerungen, wie z. B. Druckab- oder ausfall bei Sprayluft oder -wasser, zu Keimverschleppungen in die Versorungseinheit kommen koennen.

Während KOCH (32) neben den Keimen aus der Trinkwasserversorgung keine Patientenkeime in den Versorgungseinheiten nachweisen kann, fanden HETZHEIM u. RITZ (24) ein starkes Ansteigen der Keimzahlen in den Versorgungseinheiten, fuer das sie vor allem Patientenkeime verantwortlich machen. Alle drei Autoren fordern Sicherheitsvorkehrungen. HETZHEIM u. RITZ schlaegen die Verwendung eines auch bei chronischer Aufnahme unschaedlichen Desinfektionsmittels in den zahnärztlichen Versorgungseinheiten und/oder eines Keimfilters vor und nennen entsprechende Präparate bzw. Filter.

Die offene Geräumischung fuehrt Luft und Wasser erst unmittelbar vor dem Winkelstueckkopf zusammen. Ihr sollen die oben beschilderten Nachteile der moeglichen Keimverschleppung nicht anhaften. Allerdings guertte auch hier ein Ruecksaugventil zur Vermeidung des Nachtropfens notwendig sein. Von der Industrie wird im Zusammenhang mit Beobachtungen auf dem amerikanischen Markt die Frage gestellt, ob denn Mehrdosesensysteme notwendig seien oder ob nicht auch vergleichbare und ausreichende Kuehlleistungen mit einem Einzeldosespray erreicht werden kann.

Weitere Literaturfundstellen koennen u. a. der Publikation von TITTKEMAYER (65) und der tabellarischen Uebersicht von ONTRUP u. STAWECKI (44) entnommen werden.

1.3.

AUFGABENSTELLUNG

1.3.1.

Anschluss an fruehere Untersuchungen

HÄHNE (20) untersuchte 1975/76 die richtungsabhängigen Unterschiede von Ein- und Zweiduesenkuehlsystemen an zahnärztlichen Turbinen. In seinen technisch-physikalischen Versuchen stellte er beim Einduesensspray Temperaturerhöhungen um bis zu 20 °C gegenüber maximal 7 °C beim Zweiduesenssystem fest. In einer zweiten Versuchsreihe führte HÄHNE unter klinisch-experimentellen Bedingungen Präparationen zentraler Kavitäten durch und stellte dabei lediglich Temperaturerhöhungen von 3 °C bzw. 2 °C fuer das Ein- bzw. Zweiduesenssystem fest. HÄHNE folgert daraus, dass unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen, wie z. B. tuffender Arbeitsweise, einem Anpressdruck unter 72 p und Vermeidung von Pulkennaeher, der Einsatz von Einduesenkuehlsystemen bei zahnärztlichen Turbinen moeglich ist. Allerdings gibt auch er dem Zweiduesenssystem unter Bedingungen, die eine hohe Waermeentwicklung erwarten lassen eindeutig den Vorzug.

Die Untersuchungen HÄHNE's waren Anlass dafuer, in dieser Arbeit sehnliche Betrachtungen bei sogenannten 'roten' Winkelstuecken anzustellen. Ihnen wird wegen der hoeheren Leistung der Mikromotoren und des damit verbundenen besseren Durchzusvermoegens gegenüber der Turbine eine hoehere Erwaermung der Präparationsstelle und damit auch eine hoehere Pulpenbefaehrung nachgesagt. Rote Winkelstuecke erlauben auf Grund ihrer Uebersetzung, mit Drehzahlen zwischen 12000 und 120000 Umdrehungen / min am Diamanten zu arbeiten, wobei der antreibende Mikromotor mit 4000 bis 40000 U/min dreht (GARNIER u. HOHMANN, 19; HALLER, 21).

1.3.2.

Untersuchte Winkelstuecke

Fuer die Untersuchungen standen drei auf dem deutschen Markt erhaeltliche Winkelstuecke (Abb. 1 u. 5-7) zur Verfuegung:

"KAVO", Kaltenbach & Voigt, Biberach
Winkelstueck 23 B, mit innenliegender Sprayfuehrung
FG-Spannfutter, Dreiduesensspray

"MICRO-MEGA", Micro-Mega, Genf / Bad Homburg
Winkelstueck 2000 EI, mit innenliegender Spray-
fuehrung, FG-Spannfutter, Zweiduesensspray

"W & H", Dentalwerk Buermoos, Buermoos (Oesterreich)
Winkelstueck 947/3-Y, mit teilweise innenlie-
gender Sprayfuehrung, FG-Spannfutter, Einduesensspray

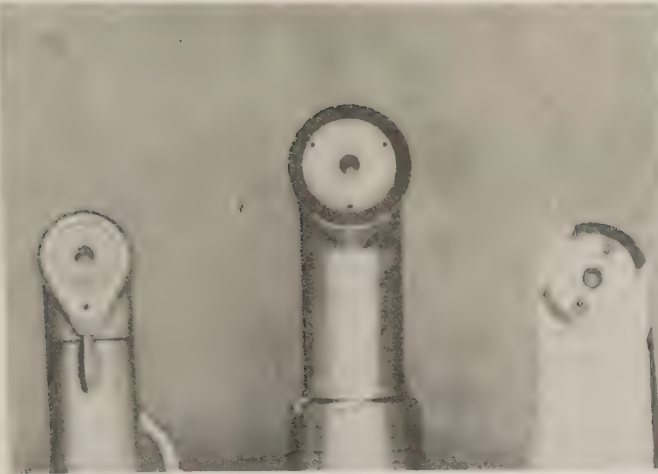


Abb. 1

Aufsicht auf
die Spray -
düsen der
Winkelstück -
köpfe .

v. l. n. r.:

W & H
947 / 3 Y

KAVO
23 B

MICRO-MEGA
CC 2000 EI

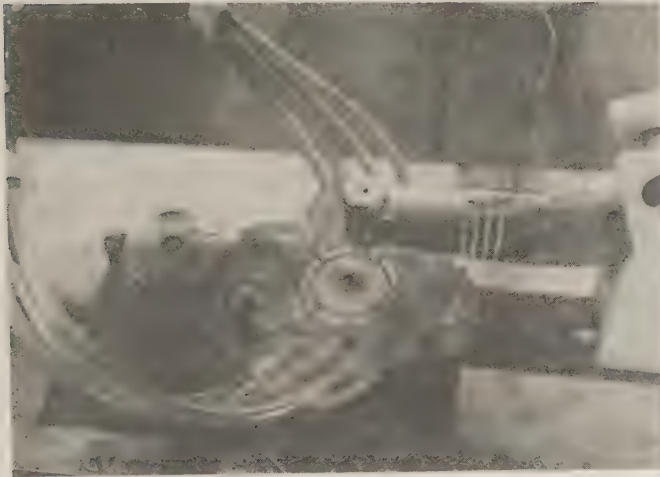


Abb. 2

Versuchsreihe I
Teilansicht der
Versuchs -
apparatur.

Elfenbeinprüf -
körper und
Haltevorrich -
tung für die
Thermoelemente
mit Zuleitungen.

Thermoelement 8
ist am Schaft
des Winkel -
stücks zu sehen
(noch nicht ge -
gen Zugluft
isoliert).



Abb. 3

Versuchsreihe I
Prüfkörper
ohne Thermoele -
mente auf dem
Prüfkörper -
tisch.

links:
Höhenverstel -
lung des Prüf -
körper tisches

unten:
Exzentrerschlitten und Rolle.

Lage der Th. -
elemente durch
Striche ange -
deutet .

Es galt zu untersuchen, ob bei den Kuehlssystemen der drei genannten Winkelstuecke richtungsabhaengige Unterschiede hinsichtlich ihrer Leistungsfahigkeit bestehen. Die Firma Siemens, Bensheim, stellte dafuer die Pruefapparatur zur Verfuegung, die seinerzeit HAHNE fuer seine Untersuchungen an Turbinen benutzt hatte.

1.3.3.

Pruefkoerper

Fuer die erste Versuchsreihe wurden die gleichen Randbedingungen angestrebt, die HAHNE in seiner Arbeit beschrieben hat. Die zylinderfoermigen Pruefkoerper aus Elfenbein (Abb. 4) hatten ebenfalls einen Durchmesser von 20 mm und eine Hoehe von 3 mm.

Aus Elfenbein hergestellte Pruefkoerper haben eine grosse Aehnlichkeit zum menschlichen Dentin (10) und koennen mit weitgehend konstanten Eigenschaften in groesserer Stueckzahl und in den gewuenschten Dimensionen hergestellt werden. POLMAN-MOODY (51) aeussert sogar Bedenken, " ...ob der natuerliche menschliche Zahn fuer vergleichende Messungen, deren Ergebnisse reproduzierbar sein muessen, als Pruefkoerper im eigentlichen Sinne in Frage kommt". Auch HALLER (21) berichtet ueber Unzuehrigkeiten, die bei der Verwendung von Zaehnen als Pruefobjekt auftreten.

Sicherlich koennen diese Bedenken - wie fuer alle Naturstoffe - in abgeschwaechter Form auch fuer Elfenbein geltend gemacht werden. Von verschiedenen Autoren wurde dennoch Elfenbein als Pruefkoerper bevorzugt, oder zumindest zum Vergleich mit menschlichem Dentin herangezogen (BAHRO, 2; BOHLMANN, 4; EICHNER, 10; FECHNER, 11; FIBIG, 12; HAHNE, 20; KLOS u. ROTTKE, 31; POLMAN-MOODY, 51).

Bei der vorliegenden Arbeit war vor allem der beabsichtigte Vergleich mit den Ergebnissen von HAHNE, sowie die Groesse und Masse der benoetigten Pruefkoerper ausschlaggebend fuer die Verwendung von Elfenbein als Pruefkoerpermateriel.

Da der Bezug von Elfenbein durch die Bestimmungen des Artenschutzgesetzes immer schwieriger und kostspieliger wird, sollte fuer die Zukunft allendings nach Materialien gesucht werden, die dem menschlichen Dentin in seinen physikalischen Eigenschaften moeglichst aehnlich sind. Ein Kunststoff eines belaischen Herstellers von Billardkueeln soll diesen Anforderungen zumindest in einigen Eigenschaften gerecht werden (BAHRO, 20).

Das bei diesen Versuchen verwendete Elfenbein wurde von der Firma E. W. Kraemer, Michelstadt / Odw. bezogen. Die Pruefkoerper der ersten und zweiten Versuchsreihe waren alle aus dem Material desselben Stosszahnes hergestellt.

1.3.4.

Richtungsabhaengige Einfluesse auf die Kuehlung

Insbesondere fuer das Einduesenkuehlssystem waren drei prinzipielle Moeslichkeiten der Kuehlung zu erwarten:

- 1.) direkte Kuehlung, der Spray trifft auf die Schleifstelle und den Diamanten;
- 2.) indirekte Kuehlung, der Spray trifft den Diamanten nur teilweise, Wasser aus der Kavitaet wird vom Diamanten durch seine Rotation angesaugt bzw. 'herangesaugt' (LAMPERT, 33);
- 3.) keine Kuehlung, der Spray wird vom Zahn abgelenkt oder abgeschattet, es ist kein Wasser fuer einen 'Pumpeffekt' in der Naehе (zu starkes Absaugen, Kronenreparation).

Die Moeslichkeiten 1.) und 2.), sowie Uebereinstimmung zwischen beiden liessen sich mit der zur Verfuegung stehenden Pruefapparatur am Elfenbeineruefkoerper simulieren. Die geringe 'Kavitaetentiefe' von nur 2 mm erlaubte jedoch nicht, die Situation 3.) mit einzubeziehen.

Aus diesem Grunde wurden die Pruefapparatur und die Pruefkoerper fuer die zweite Versuchsreihe so modifiziert, dass Verhaeltnisse wie bei einer Kronenreparation simuliert werden konnten. Die Versuche mit den HAHNE'schen Versuchsbedingungen wurden in der Absicht durchgefuehrt, einen Anschluss an seine Arbeit zu finden und damit einen gewissen Vergleich zwischen Turbine und roten Winkelstuecken zu erlauben. Dieser Vergleich ist allerdings nur mit dem einschraenkenden Hinweis darauf moeslich, dass es nur schwer mit vertretbarem Aufwand gelingt, bei zwei Experimentatoren genau die gleichen Randbedingungen fuer Versuche mit derartig vielen und stoerempfindlichen Versuchsparametern zu schaffen.

Beispielsweise wird von VIOHL (68) darauf hingewiesen, dass selbst die Abriebsmassen unbenutzter Diamanten zwischen dem einfachen und vierfachen Wert schwanken koennen. MUELLER (41) aeussert sich dazu aehnlich. Unter 2.2.2. und 2.3.2. soll naeher auf diese Thematik eingegangen werden.

1.3.5.

Konstruktionsmerkmale der Winkelstuecke

Ideenueber den fruheren ueblichen Winkelstuecken mit Sprazufuehrung ueber einen Plastischlauch weisen die in dieser Arbeit verwendeten Winkelstuecke eine innenliegende Sprazfuehrung auf (Abb. 5, 6 und 7).

Voraussetzung fuer diese Sprazfuehrung war eine noch platzsparendere Bauweise der Mikromotoren. Beim Bionas-Mikromotor wird Sprazluft und Sprazwasser unmittelbar nach dem Austritt aus dem Sch Schlauch in eine Mischkammer befuehrt und sodann als Luft-Wasser-Gemisch in den Mikromotor geleitet. An der Aussenseite der Mikromotor - Winkelstueck - Kuppelung wird der Spraz an das Winkelstueck uebergeben und dann im Winkelstueck bis zu dessen Kopf befuehrt. Lediglich beim W & H - Winkelstueck wird der Spraz noch ein kurzes Stueck durch einen aussenliegenden Plastischlauch geleitet (bei neueren Modellen der Inco-Serie auch vollstaendig innenbefuehrter Spraz). Beim Kavo - Winkelstueck ist noch zu erwaechnen, dass von vornherein eine getrennte Uebergabe von Sprazwasser und Sprazluft vorgesehen ist, so dass bei Verwendung entsprechender Mikromotoren (Kavo mit Intra-matic 2) eine externe Sprazmischung realisiert werden kann (Abb. 5).

Die innenliegende Sprazfuehrung brachte einige Verbesserungen. Abgesehen von der erhoekten Bedienungsfreundlichkeit waerften die Winkelstueckhersteller und die Anwender den zusaeztlichen Kuehleffekt des innen befuehrten Sprazes auf die sich erwaermenden Laser sehr beachtet haben; teilweise ist die Verwendung des Sprazes wegen des Kuehleffekts auf den Winkelstueckkopf sogar obliatorisch (MICRO-MEGA, 38; DENTALWERK BUERMOOS, 8).

Da von den bisher verwendeten roten Winkelstuecken haeufiger Klassen wegen uebermaessiger Waermeentwicklung in den Lasern zu hoeren waren, wurde bei der vorliegenden Untersuchung die Temperatur des Winkelstueckschaftes (etwa dort wo der Zeigefinger des Behandlers zu liegen kommt) durch ein zusaeztliches Thermoelement ueberwacht.

Die folgenden Abbildungen zeigen Schnittzeichnungen durch die Winkelstuecke (Abb. 5a u. b; Kavo; Abb. 6a u. b; Micro-Mesa; Abb. 7; W & H) und lassen die jeweilige Sprazfuehrung in ihnen erkennen.

Diese Zeichnungen wurden freundlicherweise von den Winkelstueckherstellern zur Verfuegung gestellt.

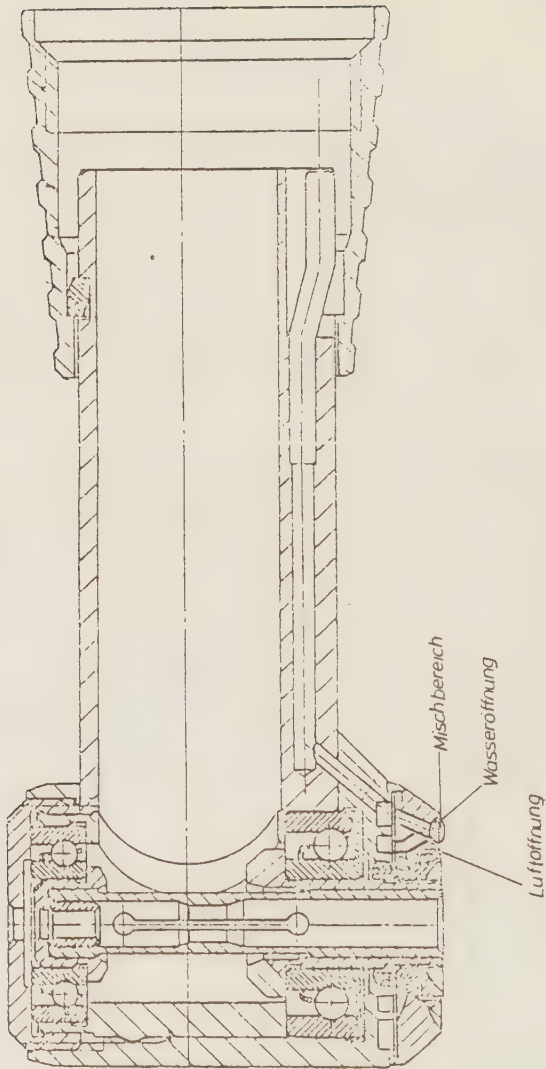


Abbildung 5 a

Kopf des Winkelstücks 23 B. Die getrennten Kanäle für Luft und Wasser projizieren sich hier übereinander. Das Wasser wird in den äußeren, die Luft in den inneren Ringkanal geleitet. Von dort werden sie zum Mischbereich der jeweiligen Spraydüse geführt.
 Werkszeichnung Kaltenbach & Voigt, Biberach

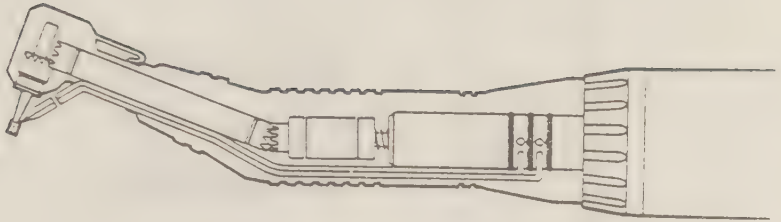


Abbildung 5 b

Darstellung der getrennten Übergabe von Sprayluft und
 Spraywasser vom Mikromotor zum Winkelstück.

(Hier allerdings nicht Winkelstück 23 B sondern Unterteil
 20 B mit Kopf 68 F, die in dieser Arbeit nicht benutzt wurden.)
 Werkszeichnung Kaltenbach & Voigt, Biberach

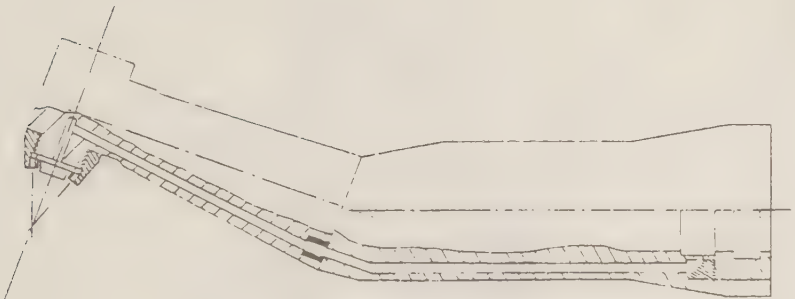


Abbildung 6 a

Sprayführung im Winkelstück CC 2000 EI von MICRO-MEGA.
 Die Details des Winkelstückkopfes sind der Abb. 6 b
 zu entnehmen.

Werkszeichnung Micro-Méga, Besancon, Frankreich

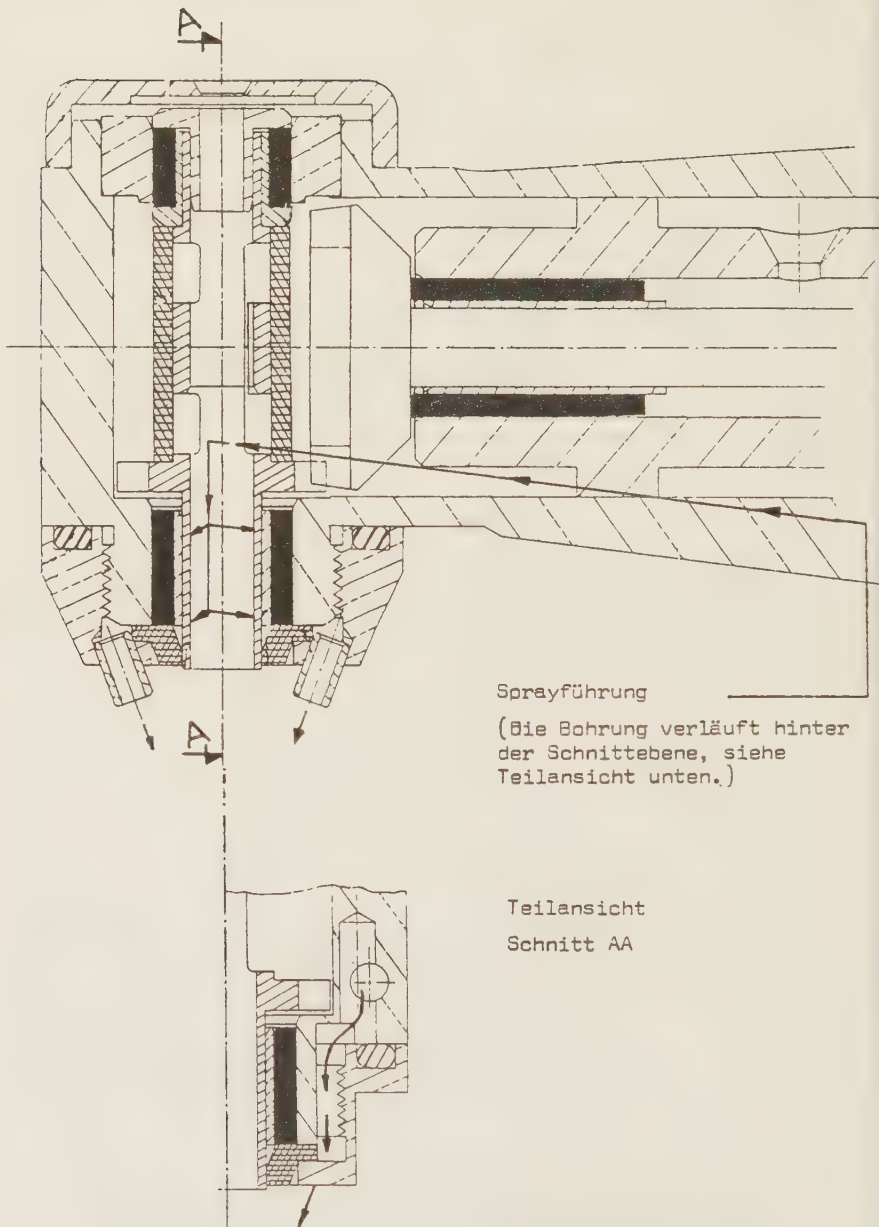


Abbildung 6 b

Werkszeichnung Micro-Méga, Besancon, Frankreich

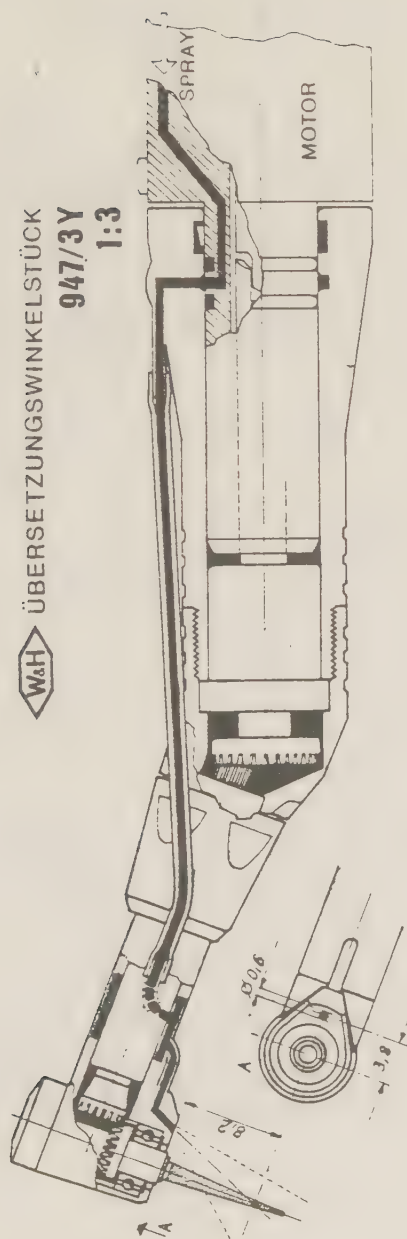


Abbildung 7; Werkszeichnung Dentalwerk Bürmoos, Bürmoos, Österreich

2.1.

DURCHFUEHRUNG DER VERSUCHE

2.1.1.

PRUEFAPPARATUR

Auf einer Grundplatte (P) aus Messing (330 x 156 mm; Abb. 2, 8, 9 und 17) kann sich um eine vertikale Achse eine Rolle (R) von 40 mm Durchmesser drehen. Ein um sie aufgewickelter Perlonfaden wird an die Vorderkante der Grundplatte befuehrt, wo er ueber eine Umlenkrolle (U) nach unten befuehrt wird. Der Faden wird von dem Gewicht (G) nach unten gezogen.

Der obere Teil der Rolle (R) traestet den Exzentrerschlitten (E) mit dem Mitnehmerzapfen (Z), der in eine Passung des Fuehrungsgestaenges (G1) greift. Der Zapfen des Exzentrerschlittens folst der Drehung der Rolle (R). Mit einer Schraube am Exzentrerschlitten kann der Radius der Zapfenbahn (von der Drehachse der Rolle zum Mittelpunkt des Zapfens) veraendert werden. Als Mass dient die Gewindesteigung der Verstellerschraube. Eine Ansettschraube fixiert den Exzentrerschlitten.

Das Fuehrungsgestaenge besteht aus den zwei Elementen G1 und G2, die gelenkig miteinander verbunden sind. Waehrend G1 vom Mitnehmerzapfen (Z) befuehrt wird, ist G2 ueber eine vertikale Achse (A) drehbar mit der Grundplatte verbunden. G1 traestet eine Spannvorrichtung (S) zur Aufnahme der jeweiligen Winkelstuecke. Die Winkelstuecke werden darin so montiert, dass die Drehachse des Diamanten mit der Achse des Mitnehmerzapfens identisch ist. Der Diamant wird also auf einer Kreisbahn befuehrt, deren Radius mit dem Exzentrerschlitten veraendert werden kann.

Durch die beschilderten Lagerungen des Fuehrungsgestaenges wird erreicht, dass G1 einer Kreisbewegung in horizontaler Ebene folst, waehrend G2 dazu dient, G1 dabei weitgehend parallel zu fuehren.

Zwischen die Rolle und das Winkelstueck naest der Pruefkoerper (T). Bei der Versuchsserie 1 war er ueber eine Hoeohenverstellung (H) in Z-Richtung verstellbar. Bei der Versuchsreihe 2 war zusaetzlich ueber einen X-Y - Tisch eine Justierung in X-Y - Richtung moeslich (Abb.17).

2.1.1.1.

Pruefkoerper Versuchsreihe 1

Bei der ersten Versuchsreihe wurde ein Elfenbeinpruefkoerper verwendet, dessen Abmessungen der Abb. 4 entnommen werden koennen.

Eine vorsehraeste Rinne im Pruefkoerper wurde waehrend des Versuchs um einen definierten Betrag nach aussen erweitert.

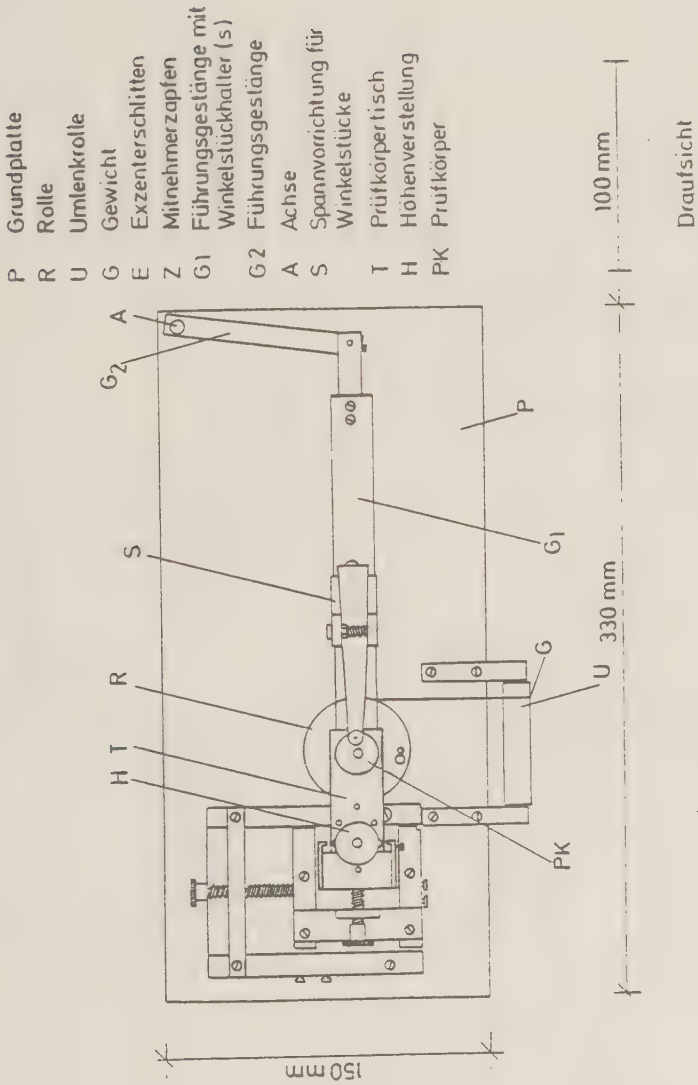


Abbildung 8

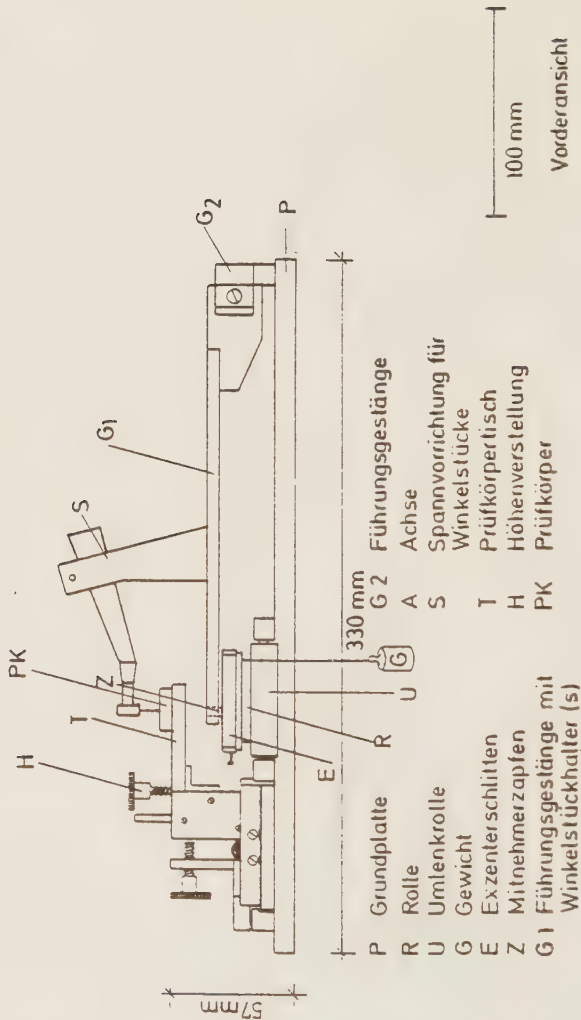
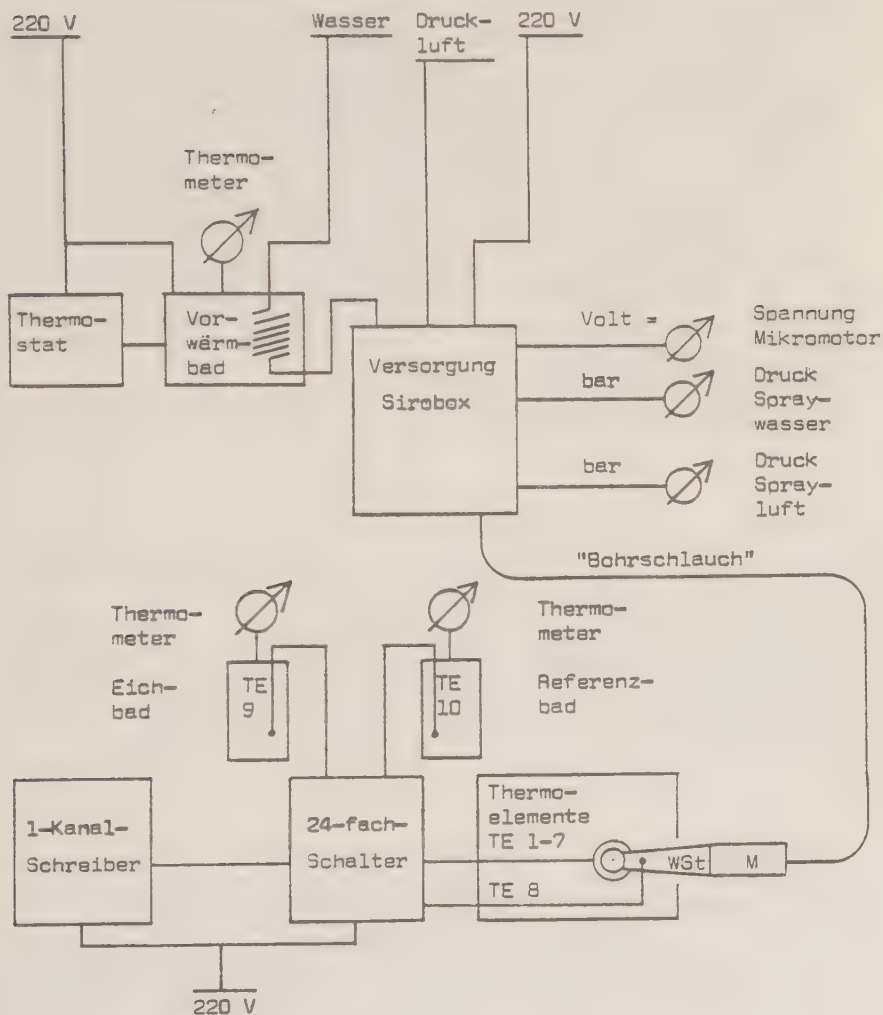


Abbildung 9

BLOCKDIAGRAMM VERSUCHSREIHE 1

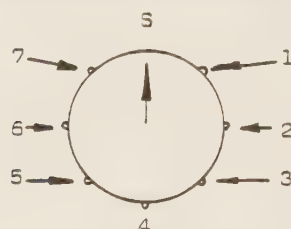


WSt = Winkelstück

M = Mikromotor

Abbildung 10

Position der Thermoelemente



S = Startposition des
Diamantschleifers

Der Pfeil gibt die Sprüh-
richtung des Eindüsenstrahls
in der Startposition an.

Abbildung 11

An der Mantelfläche des zylinderförmigen Prüfkörpers waren an den in Abb. 11 gekennzeichneten sieben Stellen Thermoelemente in eine Spannvorrichtung aus Kaltpolymerisat eingesessen. Die notwendige Wärmekopplung zwischen Prüfkörper und Spannvorrichtung bzw. Thermoelementen wurde durch innigen mechanischen Kontakt und eine Wärmeleitpaste (wie sie auch in der Halbleitertechnik verwendet wird) gewährleistet.

2.1.1.2.

Prüfkörper Versuchsreihe 2

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde ebenfalls ein Elfenbeinprüfkörper verwendet (Abb. 18 u. 21).

Im Gegensatz zur ersten Versuchsreihe sind die sieben Thermoelemente hier im Inneren des Prüfkörpers in den Prüfkörpernuten aus Kaltpolymerisat eingesessen. Bei dem Versuch wird von der Außenfläche des zylinderförmigen Prüfkörpers Material abgetragen. Auf Einzelheiten wird bei der Beschreibung der zweiten Versuchsserie eingegangen.

2.1.1.3.

Versorgungseinheit

Als Versorgungseinheit stand eine Siemens-Sinobox zur Verfügung. Sie benötigt zum Betrieb Wasser, Druckluft und 220 V Wechselspannung (Abb. 10 und 20). Die Versorgung mit Luft und Strom war unproblematisch. Für die Versorgung mit Wasser war es erforderlich, noch ein thermostatesteuertes Vorwärmbad vorzuschalten, da das Wasser aus der hauseigenen Versorgung je nach dem Wasserverbrauch im Hause bzw. je nach Tageszeit mit Temperaturen zwischen 15 und 27 Grad Celsius zu entnehmen war.

Aus der Sinobox waren Messleitungen für die Überwachung von drei Versuchsparametern herausgeführt worden. Die Versorgungsspannung des Sirona-Mikromotors wurde mit einem Gleichspannungsvoltmeter (Siemens Multizet I für Versuchsreihe 1 und ICE 680 R für Reihe 2) fortlaufend überwacht.

Die Drehzahl des Sirona-Motors ist nach Angaben des Herstellers Siemens (GARNIER u. HOHMANN, 19; HOHMANN, 27) sowie HALLER, 21) der Versorgungsspannung proportional, so dass diese Spannung zur Ueberwachung der Drehzahl herangezogen werden kann. Weiterhin waren zwei Leitungen herausgeführt worden, die zur Ueberwachung des Drucks von Spraywasser und -luft dienten. Der Druck wurde jeweils unmittelbar vor der Einleitung in den Bohrschlauch in kg/cm^2 gemessen (Hersteller der Manometer: Druckluft Goetz, Mannheim). Die Sindbox versorste einen Sirona-Motor mit innenliegender Sensordurchführung, der bei einer Spannungsversorgung von 7,2 bis 24 V Gleichspannung Drehzahlen von 4000 bis 40000 U/min hat (GARNIER u. HOHMANN, 19; HOHMANN, 27).

Die Sindbox, das Multimeter Mulizet 7 und die Manometer wurden fuer die Dauer der Versuche freundlicherweise von der Firma Siemens, Bensheim zur Verfuegung gestellt.

2.1.2.

METHODIK DER TEMPERATURMESSUNG

2.1.2.1.

Verschiedene Moeslichkeiten der Temperaturmessung

Die Verwendung ueblicher Thermometer, deren Funktionsprinzip auf der temperaturabhaengigen Ausdehnung von Fluessigkeiten oder Gasen beruht, ist bei der hier beschriebenen Versuchsanordnung nicht sinnvoll. Einerseits weist die Anzeige dieser Thermometer eine gewisse Traesheit auf und, andererseits beeinflussen sie wegen der verhaeltnismaessigen grossen Masse, die fuer die Messung erwarmt werden muss, die zu messende Temperatur durch ihre damit grosse Waermekapazitaet anerklich. Ganz abgesehen davon ist ihre Verwendung auch wegen der unzuoeckmaessigen Abmessungen nicht moeslich. Die Verwendung von Thermocoloren oder Thermochromen (HOFMANN, 26), also von Farbstoffen, die nach Erreichen eines bestimmten Temperaturbereichs einen zum Teil irreversiblen Farbumschlag zeigen, ergibt keine Ergebnisse mit der gewuenschten Genauigkeit, da nur ein gewisser Temperaturbereich und keine exakten Temperaturen erfasst werden koennen. Thermocolors erscheinen jedoch fuer Bohr- und Schleifversuche ohne jegliche Kuehlung hinreichend genau (26). Rehnliches gilt fuer die Beobachtung der Anlauffarben von Stahlbohrern, wie sie von MAYER (38) angewandt wurde.

Fuer Temperaturmessungen auf engem Raum, moeslichst ohne stoerende Beeinflussung der Messwerte, gilt die Verwendung von Thermoelementen als das Mittel der Wahl (BOLZ u. KALWEIT, 5; RECHNER, 11; FUHR, 13, 17; GRIGULL, 18; HAHNE, 38; HALLER, 21; HENSEL u. MANN, 23; HOFMANN, 25; KIRSCHNER u. MAYER, 38; KLOS u. ROTTKE, 31; OESTERLE, 43; PANGIDIS, 45; POLMAN-MOODY, 51; SCHUBERT, 57; STUEBEN, 61, 62; STUEBEN u. HOPPE, 63, 64; WALTER u. LEIHEWEEER, 71).

2.1.2.2.

Thermoelemente

Thermoelemente nutzen den sogenannten thermoelektrischen (Seebeck-) Effekt zur Temperaturmessung aus. Brinnt man einen Metalldraht beidenseits etwa durch Loetstellen mit einem Draht aus einem anderem Metall in Verbindung und brinnt man in diesen Leiterkreis ein empfindliches Spannungsmesserset (Abb. 12), so stellt man unter der Voraussetzung, dass beide Verbindungsstellen eine unterschiedliche Temperatur haben, am Spannungsmesser eine dem Temperaturunterschied der Verbindungsstellen proportionale Thermospannung fest. Die Hoehe dieser Spannung ist auch von den verwendeten Metallen abhaengig.

Übliche Schaltung von Thermoelementen

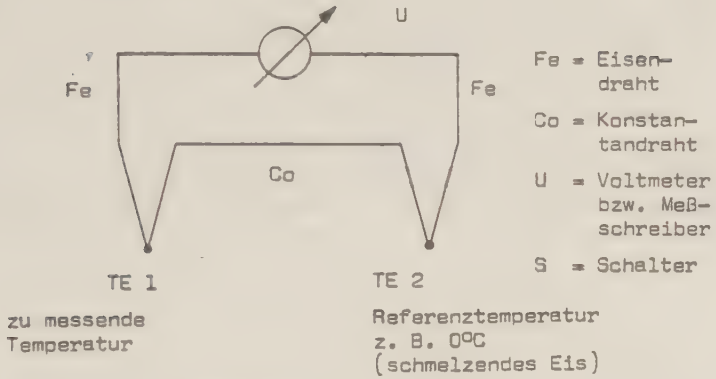


Abbildung 12

Schaltung der 10 Thermoelemente und modifiziertes Eichverfahren

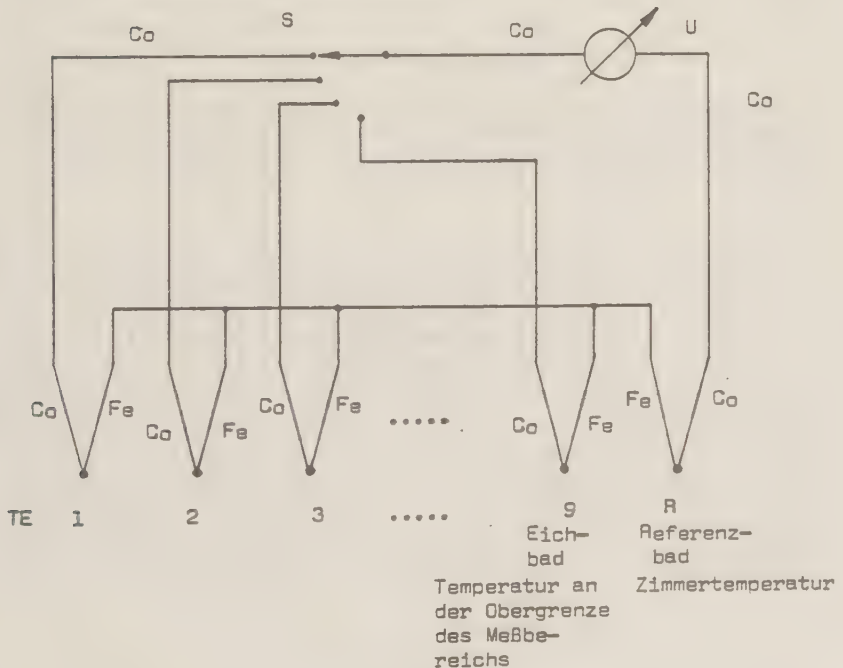


Abbildung 13

In der Praxis finden z.B. Thermoelemente aus Kupfer - Konstantan (Konstantan: 60 % Cu, 40 % Ni) oder aus Eisen - Konstantan mit typischen Thermospannungen von 0.043 mV/Grad und 0.054 mV/Grad Temperaturdifferenz an den Loetstellen Anwendung (F. Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. 3, 22. Aufl. 1968, B.G. Teubner-Verl., Stuttgart).

Bei der vorliegenden Untersuchung wurden Thermoelemente in der Kombination Eisen - Konstantan verwendet (wie auch bei 11, 31, 43, 52, 58, 60, 61, 62, 63 und 71).

STUEBEN (61) weist ausdruuecklich darauf hin, dass Thermoelementen dieser Kombination bei einer Drahtstarke von 0.1 mm nebenueber denen aus Kupfer und Konstantan wegen der geringeren Waermeleitfaehigkeit der Vorzug zu geben sei.

2.1.2.3.

Eichung der Thermoelemente

Ueblicherweise wird eine Loetstelle in schmelzendes Eis gegeben (Abb. 12), waehrend die zweite Loetstelle auf die zu messende Temperatur gebracht wird. Zur Eichung haelt man die zweite Loetstelle in siedendes Wasser; das Voltmeter kann dann in Grad Celsius geeicht werden. (Es ist zu beruecksichtigen, dass die Hoehe ueber NN und der jeweils herrschende Luftdruck einen Einfluss auf die Temperatur siedenden Wassers haben.) Derartige geeichte Thermoelemente erlauben es, einen Temperaturbereich von etwa 100 Grad Celsius zu ueberblicken.

2.1.2.4.

Modifiziertes Eichverfahren

Die Vorversuche fuer die erste Versuchsreihe liessen jedoch nur Temperaturunterschiede von weniger als 20 Grad erwarten, das heisst die oben beschilderte Eichung haette nur eine schlechte Aufloesung der geringen Temperaturunterschiede ergeben.

Aus diesem Grund wurde das uebliche Eichverfahren fuer Thermoelemente modifiziert (Abb. 13). Statt das Referenzbad auf einer Temperatur von 0 °C zu halten und ein Eichbad von 100 °C zu verwenden, wurde ein Referenzbad mit Raumtemperatur (der unteren Grenze des gewuenschten Messbereichs) und ein Eichbad von 20 bis 25 °C ueber der Raumtemperatur (also an der oberen Grenze des gewuenschten Messbereichs) benutzt. Die Baeder waren Wasserbaeder in Thermosgefassen, die Thermoelemente befanden sich zur Vermeidung von Kriechstroemen in mit Mineraloel gefuellten Reagensglasern in diesen Wasserbaedern. Trotz tageszeitlicher Schwankungen der Raumtemperatur von teilweise ueber 10 °C zeigte das Referenzbad Schwankungen von weniger als 2 °C. Fuer das Eichbad wurde Wasser von etwa 45 °C verwendet. Die Temperatur beider Baeder wurde mit auf 0.1 Grad geeichten Thermometern ueberwacht.

Der Nullpunkt der Schreibenskala wurde in der Weise geeicht, dass das Thermoelement fuer das Eichbad zusammen mit dem des Referenzbades in das Reagensglas im Referenzbad gebracht wurde. Beide Thermoelemente waren nur auf Raumtemperatur und der Schreiber dürfte folglich keinen Ausschlag anzeigen.

Die Verstärkung des Schreibens und somit die Steilheit der Schreibenskala wurde ermittelt, indem das Thermoelement fuer das Eichbad in sein zugehöriges Reagensglas gebracht wurde. Die Temperatur zwischen ihm und dem Thermoelement im Referenzbad konnte an den Thermometern in den beiden Bädern abgelesen werden. Der Schreiber wurde so justiert, dass auf der insgesamt 100 Skalenteile umfassenden Skala vier Teilstriche ein Grad Temperaturdifferenz darstellten, die Schreibenskala also einen Bereich von 25 Grad umfasste. Unmittelbar vor jedem Versuch wurde die geschilderte Eichung überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

Es konnte so vermieden werden, dass z. B. eine mögliche Temperaturdrift des Schreibens im Laufe des Tages Messfehler verursachte. Weiterhin konnten so fuer die erste Versuchsreihe auf etwa 0.1 Grad genaue Temperaturen ermittelt werden. Nicht zuletzt konnte durch die feste Relation von 4 Skalenteilen / Grad die Versuchsauswertung erleichtert werden.

2.1.3.

VERSUCHSABLAUF

Die Pruefkoerper werden auf den Versuch vorbereitet, indem der Startpunkt fuer den Jeweiligen Versuch mit einem Bleistiftstrich fuer die spaetere Pruefkoerpervermessung markiert wird. Die Flaechen des Pruefkoerpers, welche mit den Thermoelementen in Beruehrung stehen, werden mit einer duennen Schicht Thermoleitpaste beschickt. Schliesslich muessen Pruefkoerper und Diamantenbahnradius zueinander zentriert werden.

Dies bereitete besonders bei der ersten Versuchsreihe einige Schwierigkeiten. Stimmt die Mittelpunkt des Pruefkoerpers und der Diamantenbahn nicht genau ueberein, war der Abstand des schleifenden Diamanten von den messenden Thermoelementen nicht an allen Messpunkten gleich gross, was zwangslaefig zu ungenauen Messwerten fuehren musste.

Die Pruefapparatur liess anfangs leider keine Vorrichtungen zur Feindjustierung von Pruefkoerper oder Winkelstueck auf, so dass dieser Vorbereitungs punkt sehr viel Zeit in Anspruch nahm. Aus diesem Grunde wurde die Pruefapparatur fuer die zweite Versuchsreihe mit einem X-Y-Tisch zur Pruefkoerperjustierung ausgeruestet.

War der Pruefkoerper in Position gebracht, konnten die Thermoelemente am Pruefkoerper befestigt werden, sofern sie nicht schon, wie bei Versuchsreihe 2, auf dem Pruefkoerpertisch montiert waren.

Zur weiteren Vorbereitung wurde der Diamantenbahnradius am Exzentralschlitten genau eingestellt und der bereits unter Spray rotierende Diamant mittels der Hoeohenverstellung des Pruefkoerpertisches um das erforderliche Mass in den Pruefkoerper versenkt, so dass sich der Diamant bei laufendem Mikromotor exakt in der Startposition fuer den Versuch befand.

Vor jedem Versuch wurden die Thermoelemente und der Schreiber auf die in 2.1.2. beschriebene Art und Weise geeicht.

Es folgte eine Vorlaufzeit von fuerf bis zehn Minuten, die dazu diente, moeglichst konstante Temperaturgleichgewichte in der gesamten Pruefapparatur zu erhalten. Das Spraywasser in der Versuchseinheit hatte waehrend der Vorbereitungszeiten wieder Raumtemperatur angenommen. Der Spray musste deshalb zunaechst so lange laufen, bis dieses Wasser verbraucht war und aus dem Vorwaermbad Wasser mit einer massen konstanter Temperatur geliefert wurde. Gleichzeitig konnte sich das in die Sirobox eingebaute Spraywasser-Vorwaermsystem auf eine konstante Waermeabgabe einstellen. Bereits KLOS u. ROTTKE (31) sowie STUEBEN u. HOFPE (63) erkannten stoerende Einfluesse aus diesem Teil des Kuehlsystems und schalteten sie ebenfalls weitgehend aus.

Wie bereits erwähnt, übt auch die in den Lasern der Winkelstuecke entstehende Waerme einen Einfluss auf die Sprae-temperatur aus. Die Winkelstuecke mussten also zu Versuchsbeginn auch auf eine gewisse Betriebstemperatur gebracht werden, bei der dann ein Gleichgewicht zwischen Waermeerzeugung in den Lasern und der Waermeabgabe an das Sprae-wasser und die Umgebung herrschte.

Nicht zuletzt mussten die Pruefkoerper und ihre Umgebung auf eine konstante Temperatur vor Beginn des Versuchs gebracht werden. Als Kriterium dafuer wurde die Temperatur am Thermo-element 1 der Versuchsanordnung genommen, weil dies dem dem Spraezentr der laufenden Winkelstuecke am naechsten war, waerend die anderen Thermoelemente geringfaellig unter-schiedliche Temperaturen anzeigten, je nachdem ob sie noch vom Sprae betroffen wurden oder nicht. Diese Temperatur wurde fuer die Versuchsauswertung als sog. "Anfangssprae-temperatur" (auch kurz "Sprae") herangezogen. Die Temperatur an Element 1 musste fuer mindestens zwei Minuten konstant bleiben (Schwankungen $< 0,25^{\circ}\text{C}$), damit der Versuch beginnen konnte. Vorversuche hatten gezeigt, dass nach einer Vorlaufzeit von 5 - 15 min. und 2 min. Temperaturkonstanz auch fuer die Dauer der Versuche konstante thermische Bedingungen zu erwarten waren. Es war somit moeglich, die zwangslaefig verschiedenen thermischen Ausgangssituationen der einzelnen Versuche zu beruecksichtigen.

Der Versuch wird gestartet, indem die Rolle durch das Gewicht in eine langsame Drehung versetzt wird und damit der rotierende Diamant gegen den Pruefkoerper gedrueckt wird und diesen dann abschleift.

Das notwendige Gewicht, um einen definierten Anpressdruck des Diamanten gegen den Pruefkoerper zu erreichen, laesst sich aus der Geometrie der Pruefapparatur an Hand der Hebelsaetze berechnen. Ist G das fragliche Gewicht an der Rolle, L_R der Hebelarm dieses Gewichts an der Rolle, K der Anpressdruck des Diamanten gegen den Pruefkoerper und L_K der Diamantenbahn-radius so gilt folgende Beziehung:

$$G = \frac{K \times L_K}{L_R}$$

Auf seiner kreisfoermigen Bahn schleift der Diamant den Pruefkoerper langsam ab. Da fuer die erste Versuchsreihe nur ein Einkanalsschreiber zur Verfuegung stand, wurden die Thermolemente mit einem 12-Pol-Schalter nacheinander auf den Schreiber geschaltet. Nach dem jeweiligen Maximum eines Thermolements wird auf das Thermolement 8 geschaltet, das die Temperatur des Winkelstueckes misst, um etwaige Versaenderungen der Sprae-temperatur durch andere Sprae-wasser-temperaturen und / oder erhoehrte Lasernaermeung waehrend des Versuchs erkennen zu koennen.

Die den einzelnen Messpunkten zugeordneten Temperaturen am Thermoelement 8 geben also einen Hinweis auf die Konstanz der Versuchsbedingungen, zu deren Ueberwachung auch die Dauer der einzelnen Versuche festgehalten wurde.

Nach dem Abschluss von jeweils 25 Versuchen fuer ein Fabrikat werden die Pruefkoerper vermessen. An jedem Messpunkt wird die Staerke des nach dem Abschleifen noch zwischen notierendem Diamant und Thermoelement verbliebenen Elfenbeins mit einer Messuhr bestimmt. Auch diese Werte erlauben einen Rueckschluss auf die Versuchsbedingungen.

2.2.

VERSUCHSREIHE 1

2.2.1.

VERSUCHSAUFBAU

2.2.1.1.

Temperaturmessungen

Die Prüfapparatur, die Prüfkörper und die Lage der Thermoelemente sowie die Versuchseinheit mit ihren Überwachungseinrichtungen wurden bereits in 2.1.1. beschrieben. Die Leitungen der Thermoelemente am Prüfkörper und am Winkelstueck wurden einem 24-Pol Schalter zugeführt, der seinerseits noch an jeweils ein Thermoelement im Eich- und im Referenzbad angeschlossen war und die Thermospannungen entsprechend der Schalterstellung einem Einkanal - μ - Schreiber zuführte. Die Bedeutung des Eich- und des Referenzbades wurde unter 2.1.2. erläutert.

Mit dem 24-Pol Schalter waren nacheinander folgende Signale auf den Schreiber (Metrawatt Servoson Kompensationsschreiber RE 511) zu schalten:

- 1.) Eichung: Eichbad gegen Referenzbad (Thermoelemente 9 und 10)
(Nullpunkteichung wenn sich Elemente 9 und 10 im gleichen Bad befinden)
- 2.) Thermoelement 8 (Winkelstueckschaft)
- 3.) Thermoelement 1 (1. Messpunkt am Prüfkörper)
- 4.) Thermoelement 8
- 5.) Thermoelement 2 (2. Messpunkt am Prüfkörper) usw.
- .
- .
- 12.) Thermoelement 8
- 13.) Thermoelement 6
- 14.) Thermoelement 8
- 15.) Thermoelement 7
- 16.) Thermoelement 8
- 17.) Eichung wie in Schaltstellung 1.)
- 18.) bis 24.) nicht belegt.

Auf diese Art und Weise war es moeslich entsprechend dem Versuchsablauf zunaechst den Schreiber mit seinem Nullpunkt und seiner Verstärkung auf die Thermoelemente abzusuchen. Anschliessend fand unter Beobachtung des Thermoelements 1 ein Vorlauf von fuef bis zehn Minuten bis zum Erreichen moeslichst konstanter thermischer Bedingungen statt. Einzelheiten dazu wurden in 2.1.3. dargestellt.

Waehrend des Vorlaufs befand sich der rotierende Diamant bereits unter Senkberieselung in der Startposition. Lediglich das Gewicht zum Andruck des Diamanten gegen den Prüfkörper war noch nicht wirksam.

2.2.1.2.

Zustandekommen der Messwerte

Die Messwerte wurden folgendermassen gewonnen: Die Temperatur, die sich am Thermoelement 1 nach der Vorlaufzeit fuer zwei Minuten als konstant erwiesen hatte wurde als Basiswert 'Spray' fuer den Versuch als kennzeichnend fuer die Sprayer-temperatur festgehalten. Sodann wurde der Versuch gestartet, indem das Gewicht fuer den Vorschub des Diamanten einsehnenst wurde. Der Diamant begann zu schleifen und am Thermoelement 1 sties die Temperatur. Am Schreiber wurde so lange gewartet, bis das Thermoelement 1 einen Maximalwert angezeigt hatte und sich wieder abkuehlte. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Schalter in die naechste Position geschaltet. Es wurde also die Temperatur am Schaft des Winkelstuecks angezeigt und festgehalten. Sie wurde dem Maximalwert des Thermoelements 1 (bzw. dem Messort 1) zugeordnet.

Anschliessend wurde gleich auf das Thermoelement 2 geschaltet und sein Maximum abgewartet. Zum Messort 2 gehoeend wurde dann Element 8 abgelesen. Fuer die Elemente 3 bis 7 wurde analog vorgefahren. Die Dauer des Versuchs wurde an Hand des Faeiervorschubs am Schreiber (in cm/sec) und der Schrieblaeenge ermittelt.

Zum Abschluss des jeweiligen Versuchs wurde die anfaengliche Eichung wiederholt, um eine eventuelle Temperaturdrift des Schreibers aufdecken zu koennen.

Die Pruefkoerper wurden nach den Versuchen an den einzelnen Messorten auf die noch verbliebene Restmaterialstaerke hin vermessen (Messuhr 0.01 mm, Hersteller: H. Croeklin).

2.2.1.3.

Versuchsparameter

2.2.1.3.1.

Drehzahl

Unsernueglich war geplant, die Versuche mit einer Drehzahl von 120000 U/min durchzufuehren. Es stellte sich aber bei Vorversuchen heraus, dass das W & H - Winkelstueck infolge seiner Uebersetzung bei der maximal zulaessigen Spannung von 24 V fuer den Mikromotor nur knapp 100000 U/min am Diamanten erreichte. Mit Hilfe der Versorgungsspannung des Mikromotors wurde die Drehzahl am Diamanten bei allen Winkelstuecken auf 100000 U/min eingestellt (Drehzahlmessung mit einem magnetisierten Stift im Spannfutter durch die Fa. Siemens). Der Mikromotor benoetigte fuer die verschiedenen Winkelstuecke folgende Gleichspannungen:

22.7 V	Kavo
23.8 V	Micro-Mesa
24.5 V	W & H

Es waere auch denkbar gewesen, die Versuche mit konstanten Drehzahlen am Mikromotor und damit unterschiedlichen Drehzahlen am Diamanten auszuuehren. Dies haette etwa der Situation in der Praxis entsprochen, bei der in -der Regel auch nur die Winkelstuecke ausgetauscht werden und die Drehzahl des Mikromotors beibehalten wird. Sinn dieser Untersuchung ist es aber, die Kuenisysteme unter sonst gleichen Bedingungen, also auch bei gleichen Drehzahlen, zu vergleichen. Nur so kann auch die Frage beantwortet werden, ob ein sonst unveraendertes Winkelstueck besser mit einem Einoder mit einem Mehrdruesenspray auszuruesten ist.

2.2.1.3.2.

Andruck bzw. Vorschubkraft

Die in der Literatur empfohlenen Werte fuer den Andruck der Schleifinstrumente liegen den Zahn schwanken zwischen 20 μ fuer Turbinen und bis zu 400 μ fuer 120000 U/min (43). Die Mehrzahl der Autoren empfiehlt Vorschubkraefte zwischen 50 und 150 μ (4, 20, 42, 63). Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang der Hinweis in der Gebrauchsanleitung der Fa. Micro-Mesa auf einen maximalen Andruck von nur 50 μ ; ein Wert, der in der taeslichen Praxis haeufig ueberschritten werden duerfte (FIBIG fand bei Studenten des letzten klinischen Semesters durchschnittliche Vorschubkraefte von 300 μ . Anm.: Die Werte bei Praktikern duerften etwas niedriger liegen).

Um eine moeglichst gute Basis fuer Vergleiche mit den Untersuchungen HAHNE's zu erreichen, wurden Vorversuche mit einem Andruck von 70 μ (bei HAHNE 72 μ) gemacht. Es stellte sich allerdings dabei heraus, dass die zur Verfuegung stehende Pruefapparatur erst bei einem Andruck von 100 μ befriedigend funktionierte. Je niedriger naemlich der Andruck gewaehlt wird, desto mehr treten mechanische Unzuelaenglichkeiten, die nur noch mit nicht mehr vertretbarem Aufwand (Luftlagerung mehrerer Laser mit dabei erhoekten mechanischen Toleranzen etc.) zu beseitigen waeren, in den Vordergrund. Ausserdem beeinflusste der Andruck die Dauer der Versuche, die in einem sinnvollen, d. h. praxisnahen Rahmen gehalten werden sollten. Entsprechend der in 2.1.3. geschilderten Beziehung wurde das Gewicht fuer den Vorschub des Diamanten zu 45,0 μ berechnet, wovon 35 μ fuer den Vorschub und 10 μ zur Ueberwindung der Laserreibung in der Pruefapparatur erforderlich waren.

2.2.1.3.3.

Kuehlwasser- bzw. Spraytemperatur

Im Abschnitt 2.1.1.3 wurde bereits auf die Notwendigkeit hingewiesen, das aus dem Leitungsnetz entnommene Wasser von der Versuchseinheit zu temperieren. In der Sindbox wurde das Wasser nochmals erwarmt, um schliesslich fuer die Versuche Spraytemperaturen zwischen 25 und 30 $^{\circ}$ C zu erhalten.

Diese Werte stimmen mit Empfehlungen aus der Literatur ueberein (4, 20, 23, 26). Einige Autoren (3, 7, 18, 74) raten allerdings auch zu Spraytemperaturen zwischen 30 und 38 °C, wobei allerdings die Funktion des Sprays als "Kuehl"-Medium nicht mehr unter allen Bedingunsen ausreichend erfuellt sein duerfte. Zudem hat die Praxis gezeigt, dass die werkseitig eingestellten Spraytemperaturen oft weit unter 27 °C liegen, die allgemein als unefaehre Schmerzgrenze nach unten angesehen wird (4, 22, 23, 29). Die gewaehlten Werte zwischen 25 und 30 °C entsprechen also auch eher der taeslichen Praxis.

2.2.1.3.4.

Spraywassermenge

Die Angaben in der Literatur zu diesem Punkt schwanken recht stark, was wohl vor allem auf die verschiedenen konstruktiven Gegebenheiten der untersuchten Turbinen und Winkelstuecke zurueckzufuehrt werden duerfte. Auch die eigenen Vorversuche ergaben, dass die erreichbaren Mengen an Spraywasser im wesentlichen von den Herstellern der Versorungseinheiten und der Winkelstuecke vorgegeben sind. Es wurde deshalb bewusst darauf verzichtet, etwa alle Winkelstuecke auf die gleiche Spraywassermenge einzustellen, da die vorgefundenen Werte als vom Hersteller gewollt betrachtet werden muessen und schliesslich von diesem relativ einfach ueber den Querschnitt der Sprayduesen beeinflusst werden koennen.

Die zur Verfuesung stehende Sirobox wurde auf die vom Hersteller empfohlenen Druckwerte von 2.2 bar fuer das Spraywasser und 3.0 bar fuer die Sprayluft eingestellt. Diese Werte wurden vor jedem Versuch ueberprueft bzw. nachjustiert. Schwankungen des Wasserdruacks, wie sie sich waehrend des Versuchsablaufs gelegentlich nicht vermeiden liessen, konnten nicht beeinflusst werden; sie sind auch in der taeslichen Praxis zu erwarten.

Fuer die Spraywassermenge wurden bei dieser Einstellung der Sirobox folgende Werte ermittelt:

31.5 ml/min	Kavo	(3 Duesen)
34.8 ml/min	Micro-Mesa	(2 Duesen)
25.0 ml/min	W & H	(1 Duese)

2.2.1.3.5.

Schleifinstrumente

Fuer die erste Versuchsreihe wurden diamantiente, zylinderfoermige Instrumente der Figur 836/012 (Hersteller: Drendel & Zweilins, Berlin) verwendet. Nach jeweils fuenf Versuchen wurde ein neuer Diamant eingesetzt.

2.2.2.

MOEGLICHKEITEN UND GRENZEN DER VERSUCHSAPPARATUR

Bereits in den vorangegangenen Abschnitten wurde verschiedentlich hervorgehoben, dass der Einhaltung konstanter Randbedingungen fuer die Versuche Grenzen gesetzt waren. Es liessen sich dabei im Wesentlichen mechanische, thermische und elektrische Einflüsse auf die Versuchsanordnung unterscheiden.

2.2.2.1.

Mechanische Grenzen

Obwohl die von der Fa. Siemens zur Verfertigung bestellte Versuchsanordnung mit grosser Sorgfalt und Praezision hergestellt worden war, so waren doch die Grenzen der Feinmechanik erkennbar. Da die Apparatur teilweise zerlesbar sein musste, konnte das Lausenspiel an einigen Stellen nicht auf nicht mehr resistierbare Werte gesenkt werden, ohne dass darunter nicht auch die Leichtsaensigkeit waehrend des Betriebs und beim Zerlegen in Mitleidenschaft gezogen wurde.

Die Winkelstuecke wurden, mit entsprechenden Ueberspannsphasen, sowohl ziehend als auch schiebend betrieben. Vorhandenes Lausenspiel wirkte sich aus diesem Grunde in allen Komponenten in vollem Umfang aus. Das auf diese Weise entstehende Spiel am Diamanten wird auf knapp 0.1 mm geschaetzt.

Die Pruefkoerper aus Elfenbein, die von der Fa. Siemens auf einer Drehbank fuer die Versuche vorbereitet wurden, hatten recht geringe Toleranzen, die wohl unter 0.05 mm lagen. Nachtraegliche Dimensionsaenderungen in Abhaensigkeit vom Faserverlauf im Elfenbein durch Schwankungen der Luftfeuchtigkeit sind denkbar.

Nicht unwesentliche Schwierigkeiten bereitete das Zentrieren der Pruefkoerper, was bereits erwaeht wurde. Trotz zeitaufwendigen Justierens vor jedem Versuch konnte nicht verhindert werden, dass einige Pruefkoerper nicht ganz symmetrisch beschliffen worden sind.

Es ist allerdings nicht feststellbar, in welchem Umfang der rotierende Diamant das Winkelstueck in Verbindung mit dem vorhandenen Lausenspiel in eine leicht unsymmetrische Bahn zwingt.

Die beschriebenen Schwierigkeiten waren zum einen Anlass daefuer, die Pruefkoerper an allen Kontaktstellen der Thermoelemente auf die verbliebene Materialstaerke hin zu vermessen und zum anderen fuer die zweite Versuchsreihe die Versuchsanordnung konstruktiv zu verbessern.

Der Durchmesser der verwendeten Diamantschleifkoerper schwankte, wohl durch unterschiedliche Kornproessen, zwischen 1.2 und 1.3 mm. Solche Toleranzen sind fuer die Praxis sicherlich von geringer Bedeutung und fallen nur unter experimentellen Bedingungen auf.

Die Summe aller Toleranzen ergab schliesslich auch in der Pruefkoerpervermessung Werte von etwa 0.35 mm, und nicht wie erwartet, von 0.5 mm.

2.2.2.2.

Thermische Einflüsse

Leider zeigte der zur Verfassung stehende Thermostat fuer das Vorwaermbad eine etwas grobe Regelcharakteristik, so dass nicht alle Schwankungen der Wassertemperatur vollstaendig aufzufangen werden konnten. Die Versuche ließen deshalb nicht auf dem gleichen Temperaturniveau (bezogen auf die Anfangssprachtemperatur). Es war allerdings sicher gestellt, dass die Temperatur waehrend eines laufenden Versuchs konstant blieb.

Auch die Raumtemperatur ($18 - 29^{\circ}\text{C}$) des nicht klimatisierten Labors wirkte sich auf das Temperaturniveau der Versuche aus.

Die bereits erwaehten Schwankungen des Wasserdrucks, die gelegentlich auftraten, zeigten wegen ihrer kurzen Dauer keine erkennbaren Beeinflussungen der Versuchsergebnisse.

Die Genauigkeit der Temperaturregistrierung mit den Thermoelementen konnte in Vorversuchen fuer die erste Versuchsreihe auf 0.1°C ermittelt werden.

2.2.2.3.

Elektrische Einflüsse

Dem Stromnetz ueberlassene Stoerspannungen, die vermutlich von Diathermieseraeten, Elektrokaetern oder Roentsenseraeten verursacht wurden, zwangen an manchen Tagen zum Abbruch der Versuche oder zu ihrer Verlegung in die Abendstunden, da auf dem Schreiben keine brauchbaren Aufzeichnungen mehr moeglich waren. Derartige gestoerte Versuche wurden wiederholt.

Stoerungen durch die mit dem Spray hervorgerufene Feuchtigkeit wurden nicht beobachtet. Die Zuleitungen der Thermoelemente waren durch Kunststoffschlaeuche geschuetzt.

* * *

Die vorausgesetzten Hinweise auf vorhandene und moegliche Fehlerquellen sollen nicht etwa den Eindruck erwecken, als seien die erzielten Ergebnisse nicht verlaesslich.

Vielmehr soll damit verdeutlicht werden, wieviele Parameter selbst unter experimentellen Bedingungen die Temperaturentwicklung bei der Bearbeitung von Zahnhartsubstanzen oder aehnlichen Materialien beeinflussen.

Die Variationsbreite der entstehenden oder der zu erwartenden Temperaturen wird noch um einiges groesser sein, wenn die rotierenden Instrumente mit der Hand befuehrt werden.

Auf diesen Sachverhalt sei vor der Besprechung der Versuchsergebnisse und vor ihrer Bewertung besonders hingewiesen.

2.2.3.

ERGEBNISSE DER PRUEFKOEERPERVERMESSUNG (Versuchsreihe 1)

Nach dem Beschleifen der Pruefkoeerper verblieb noch eine duenne Schicht Elfenbein ueber den messenden Thermoelementen. Die Staerke dieser Schicht wurde in Hoeha von jedem Thermoelement ermittelt.

Die folgenden Tabellen zeigen die Einzelergebnisse, die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Pruefkoeerpervermessung. Alle Ergebnisse werden in einer Graphik (Abb. 14-16) mit den dazugehoerenden Temperaturwerten zusammenfasst.

Zum einen wurden Mittelwert und Standardabweichung innerhalb der Versuche ermittelt, zum anderen wurden diese Werte durch alle Versuche hindurch fuer jede der sieben Messpunkte ermittelt. Zum Vergleich wurden darueberhinaus Mittelwert und Standardabweichung aller zu einem Fabrikat behoerenden 175 Messwerte berechnet.

Die Auswertung jeweils innerhalb der Versuche laesst erkennen, ob etwa einzelne Versuche stark aus dem Rahmen fallen. Die Standardabweichung gibt einen Anhaltspunkt fuer die "Guete" des betreffenden Versuchs, d. h. eine hohe Standardabweichung spricht fuer unterschiedlich grosse Abstaende der Thermoelemente von der Schleifstelle, wie sie z. B. durch eine unsymmetrische Plazierung des Pruefkoeerpers auf dem Pruefkoeerpertisch verursacht werden kann. Ein solcher Mangel an Konzentrik zwischen der Diamantenbahn und Pruefkoeerperrumfang liess sich gelegentlich an den Pruefkoeerperrn nach dem Versuch mit dem blossen Auge daran erkennen, dass das nach dem beschleifen verbliebene Elfenbein bei der Aufsicht von oben kein rindartiges sondern eher ein sichelfoermiges Aussehen hatte. Dies ist hier besonders erwaeht, weil bei der zweiten Versuchsreihe noch andere Formen beobachtet wurden.

Die Zusammenstellung aller Versuchsergebnisse zeigt, dass im Mittel der 25 Versuche die verbliebene Schichtdicke bei Kavo und Micro-Mesa in Hoeha des Thermoelements 4, bei W & H bei Element 5, am grossten und in Hoeha des Elements 7 am geringsten war. Es laesst sich nicht feststellen, inwieweit eine exzentrische Position des Pruefkoeerpers oder eine nicht exakt kreisfoermige Bahn des Diamanten hierfuer verantwortlich ist. Bei der Betrachtung der entstandenen durchschnittlichen Temperaturen ist daher bei den Elementen 4 und 5 eher von etwas hoeheren Werten und beim Element 7 eher von einem etwas niedrigeren Wert auszugehen. Zahlenmaessig koennen diese Zu- bzw. Abschlaesse aus den vorhandenen Daten allerdings nicht ermittelt werden.

PRUEFKOEPPERVERMESSUNG

K A V O . VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN MILLIMETERN)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

MESSUNG BEI ELEMENT

1 2 3 4 5 6 7 M / S

1	0.38	0.35	0.35	0.37	0.38	0.37	0.33	0.361	0.019
2	0.30	0.39	0.41	0.39	0.41	0.34	0.23	0.353	0.068
3	0.42	0.50	0.42	0.41	0.34	0.31	0.29	0.384	0.074
4	0.44	0.40	0.39	0.38	0.40	0.37	0.31	0.384	0.040
5	0.43	0.48	0.45	0.38	0.31	0.17	0.19	0.344	0.125
6	0.32	0.45	0.48	0.43	0.24	0.10	0.10	0.303	0.161
7	0.39	0.46	0.49	0.44	0.38	0.28	0.22	0.380	0.097
8	0.47	0.49	0.44	0.37	0.28	0.27	0.26	0.363	0.100
9	0.44	0.45	0.41	0.36	0.30	0.23	0.22	0.344	0.096
10	0.30	0.35	0.44	0.48	0.42	0.26	0.20	0.350	0.102
11	0.21	0.34	0.55	0.73	0.67	0.49	0.24	0.461	0.205
12	0.40	0.48	0.49	0.45	0.38	0.25	0.23	0.383	0.105
13	0.20	0.33	0.42	0.52	0.47	0.32	0.18	0.349	0.130
14	0.16	0.25	0.31	0.40	0.41	0.34	0.21	0.297	0.094
15	0.25	0.28	0.34	0.41	0.40	0.37	0.27	0.331	0.065
16	0.25	0.26	0.34	0.42	0.48	0.41	0.32	0.354	0.085
17	0.28	0.31	0.37	0.42	0.39	0.33	0.25	0.336	0.061
18	0.39	0.49	0.52	0.46	0.30	0.13	0.12	0.344	0.166
19	0.23	0.35	0.42	0.48	0.48	0.35	0.20	0.359	0.112
20	0.22	0.38	0.46	0.49	0.47	0.30	0.18	0.357	0.126
21	0.20	0.28	0.30	0.35	0.40	0.38	0.37	0.326	0.070
22	0.24	0.30	0.38	0.39	0.39	0.30	0.20	0.314	0.076
23	0.22	0.38	0.48	0.49	0.39	0.28	0.13	0.339	0.134
24	0.26	0.30	0.40	0.47	0.51	0.39	0.26	0.370	0.100
25	0.17	0.28	0.41	0.47	0.48	0.35	0.14	0.329	0.137

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M 0.303 0.373 0.419 0.438 0.403 0.308 0.226

S 0.096 0.082 0.064 0.077 0.088 0.067 0.067

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M 0.353

S 0.107

TABELLE 1

PRUEFKOERPERVERMESSUNG

I C R O - M E G A, VERSUCHSREIHE 1

VER-
SUCH
NR.

(ANGABEN IN MILLIMETERN)
(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0.38	0.40	0.40	0.46	0.47	0.46	0.43	0.429	0.036
2	0.44	0.51	0.45	0.44	0.44	0.41	0.37	0.437	0.042
3	0.38	0.49	0.53	0.53	0.48	0.43	0.36	0.444	0.087
4	0.27	0.27	0.35	0.45	0.57	0.51	0.42	0.406	0.115
5	0.39	0.37	0.32	0.32	0.34	0.33	0.32	0.341	0.028
6	0.27	0.23	0.20	0.26	0.38	0.41	0.37	0.303	0.082
7	0.25	0.15	0.02	0.18	0.32	0.36	0.40	0.246	0.133
8	0.38	0.30	0.19	0.17	0.24	0.30	0.34	0.274	0.077
9	0.52	0.47	0.39	0.36	0.31	0.34	0.33	0.389	0.077
10	0.30	0.30	0.32	0.41	0.46	0.40	0.32	0.359	0.064
11	0.43	0.46	0.42	0.46	0.48	0.50	0.49	0.463	0.030
12	0.22	0.26	0.34	0.38	0.38	0.29	0.20	0.296	0.073
13	0.50	0.56	0.59	0.61	0.57	0.51	0.41	0.536	0.068
14	0.38	0.43	0.42	0.45	0.41	0.29	0.16	0.363	0.104
15	0.41	0.41	0.41	0.36	0.27	0.24	0.13	0.327	0.093
16	0.28	0.41	0.48	0.47	0.40	0.20	0.02	0.323	0.168
17	0.34	0.44	0.54	0.50	0.37	0.27	0.16	0.374	0.133
18	0.33	0.48	0.56	0.47	0.37	0.25	0.10	0.366	0.157
19	0.37	0.50	0.51	0.44	0.37	0.24	0.13	0.366	0.139
20	0.40	0.48	0.54	0.43	0.32	0.19	0.09	0.350	0.161
21	0.30	0.35	0.40	0.38	0.34	0.27	0.20	0.320	0.069
22	0.22	0.28	0.38	0.42	0.45	0.41	0.35	0.359	0.082
23	0.35	0.33	0.37	0.38	0.35	0.34	0.31	0.353	0.029
24	0.23	0.30	0.40	0.44	0.48	0.39	0.20	0.360	0.091
25	0.29	0.31	0.38	0.38	0.43	0.38	0.31	0.354	0.051

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	0.345	0.380	0.396	0.406	0.402	0.348	0.280
S	0.082	0.104	0.127	0.097	0.083	0.093	0.122

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	0.365
S	0.109

TABELLE 2

PRUEFKOERPERVERMESSUNG

W & H VERSUCHSREIHE 1

VER- ANGABEN IN MILLIMETERN
SUCH M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0.45	0.40	0.36	0.39	0.53	0.62	0.60	0.479	0.105
2	0.24	0.32	0.34	0.38	0.44	0.32	0.24	0.326	0.072
3	0.43	0.43	0.38	0.32	0.35	0.32	0.28	0.359	0.058
4	0.50	0.42	0.34	0.26	0.38	0.49	0.52	0.416	0.096
5	0.34	0.36	0.35	0.34	0.39	0.29	0.18	0.321	0.063
6	0.29	0.22	0.20	0.24	0.37	0.41	0.41	0.306	0.090
7	0.40	0.36	0.36	0.34	0.41	0.42	0.35	0.377	0.032
8	0.19	0.17	0.22	0.38	0.52	0.52	0.45	0.350	0.155
9	0.37	0.41	0.42	0.40	0.41	0.33	0.33	0.381	0.038
10	0.33	0.31	0.33	0.39	0.43	0.41	0.34	0.363	0.046
11	0.32	0.31	0.33	0.33	0.41	0.38	0.31	0.341	0.038
12	0.36	0.35	0.32	0.32	0.38	0.42	0.40	0.364	0.038
13	0.18	0.17	0.25	0.34	0.49	0.49	0.39	0.330	0.135
14	0.30	0.34	0.39	0.37	0.38	0.38	0.25	0.344	0.052
15	0.45	0.48	0.51	0.47	0.42	0.34	0.32	0.427	0.071
16	0.39	0.39	0.45	0.45	0.43	0.36	0.32	0.399	0.048
17	0.31	0.42	0.48	0.45	0.47	0.34	0.28	0.393	0.082
18	0.32	0.40	0.46	0.45	0.41	0.34	0.29	0.381	0.066
19	0.40	0.44	0.52	0.42	0.34	0.26	0.19	0.367	0.113
20	0.39	0.45	0.50	0.45	0.42	0.28	0.10	0.370	0.138
21	0.13	0.21	0.28	0.36	0.30	0.19	0.10	0.224	0.094
22	0.23	0.25	0.28	0.29	0.31	0.31	0.25	0.274	0.032
23	0.32	0.30	0.32	0.38	0.39	0.37	0.29	0.339	0.041
24	0.32	0.37	0.33	0.31	0.23	0.20	0.16	0.274	0.077
25	0.27	0.38	0.39	0.37	0.33	0.24	0.10	0.297	0.104

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	0.329	0.346	0.364	0.368	0.398	0.361	0.298
S	0.090	0.087	0.087	0.061	0.067	0.100	0.125

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	0.352
S	0.093

TABELLE 3

3.2.4.

ERGEBNISSE DER VERSUCHE (Versuchsreihe 1)

Folgende Werte wurden im Laufe der Versuche gemessen:

- 1.) ELEMENTE 1 - 7 : Temperatur an den Thermoelementen 1 bis 7 in Grad Celsius.
- 2.) ELEMENT 8 : Temperatur am Thermoelement 8, welches am Schaft des Winkelstuecks (an der Oberseite, ca. 15 mm hinter dem Zentrum des Bohrkopfes) montiert war; in Grad Celsius.
- 3.) SPRAY : Anfangsliche Spraytemperatur; gemessen am Element 1 nach der Vorlaufzeit, aber vor Versuchsbeginn; in Grad Celsius.
- 4.) VERSUCHSDAUER : Aus der Laenge der Resistrierschriebe ermittelt; in Minuten und 1/10-Minuten

Daraus wurden folgende Werte errechnet:

- 5.) DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - Spray:
Temperaturerhoehung gegenueber der anfangslichen Spraytemperatur an den Elementen 1 bis 7.
- 6.) DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7:
Temperaturen an den Elementen 1-7 im Verlauf des Versuchs unter Beruecksichtigung eventueller Spraytemperaturveraenderungen durch Erwaermung der Laser im Winkelstueck (Naeheres siehe Text)
- 7.) DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY:
Erwaermung des Winkelstuecks gegenueber der Anfangsspraytemperatur
- 8.) MITTELWERT und STANDARDABWEICHUNG ('M' und 'S'):
Rechts vom Datenblock: innerhalb des betreffenden Versuchs.
Unter dem Datenblock: jeweils einer der Messorte 1-7 innerhalb der 25 betrachteten Versuche.
Ganz unten : Mittelwert und Standardabweichung aller 175 Werte.

Die Bedeutung der meisten Bezeichnungen geht aus der obigen Uebersicht hervor. Auf die "Differenz Element 8 - Elemente 1-7" soll hier noch naeher eingegangen werden. Wie bereits beschilndert ist die Temperatur am Schaft des Winkelstuecks einerseits von der Temperatur des diesen Schaft durchstroemenden Spraywassers abhaengig, andererseits aber auch von der Erwaermung der Laser im Winkelstueck, die ihrerseits vom Spraywasser gekuehlt werden, so dass schliesslich die Spraytemperatur von der Waermeentwicklung in den Lasern des Winkelstuecks beeinflusst wird.

Eine Versanderung der Sprasstemperatur aber, als wesentlichem Versuchssparameter, sollte nach Moeglichkeit bei der Beurteilung ausgeschaltet werden, bzw. das Ausmass einer solchen Versanderung entsprechend beruecksichtigt werden. Dazu ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Schaft des Winkelstuecks und den jeweiligen Thermoelementen am Pruefkoerper, also die "Differenz Element 8 - Elemente 1-7", geeignet, da die Schafttemperatur den oben beschilderten Versanderungen der Sprasstemperatur folgt.

Bei der graphischen Darstellung wurden deshalb auch die Werte der Schafttemperatur als Vergleichsbasis gewaehlt. Im Gegensatz zu den Graphiken der zweiten Versuchsreihe bedeuten hier positive Temperaturwerte, dass die Temperatur des Winkelstueckschaftes um den angegebenen Wert ueber den Temperaturen im Pruefkoerper lagen.

Zur Sprasstemperatur sei noch folgender Hinweis angebracht:

KLDS u. ROTTKE (31) stellten fest, dass sich der Spras auf seinem Weg vom Austritt aus der Duese bis zum eingespannten Werkzeug um bis zu 6°C durch Verdunstung abkuehlte. Bei den eigenen Untersuchungen konnten vergleichbare Werte (Differenz 8 - Spras) von 3.2 bis 6.5°C festaeestellt werden. Dabei wurde vereinfachend angenommen, dass die Temperatur am Schaft des Winkelstuecks gleich der tatsaechlichen Sprasstemperatur an der Duese ist. GRIGULL (18) fand eine Abkuehlung des Spras durch Verdunstung und Entspannung in der Grosseordnung von 1 bis 2°C bei 85% relativer Luftfeuchtigkeit. Bei der Arbeit am Patienten kommt noch eine staerkere Abkuehlung durch die Verwendung von Absauganlagen zustande.

MESSDATEN ELEMENTE 1-7

K A V O . VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
 SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
 NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	28.3	28.7	28.9	29.2	28.9	28.8	28.5	28.76	0.29
2	29.0	29.5	29.0	29.7	29.2	29.3	28.9	29.23	0.29
3	29.8	29.6	30.1	30.7	30.7	30.5	29.8	30.17	0.46
4	29.6	29.6	29.8	30.0	29.7	29.9	29.5	29.73	0.18
5	28.1	28.2	28.2	29.0	29.3	29.7	29.2	28.81	0.64
6	28.8	28.7	28.4	29.0	29.4	30.3	29.8	29.20	0.67
7	30.2	30.0	30.1	30.2	30.3	30.8	30.9	30.36	0.35
8	29.6	29.3	29.3	30.2	30.0	30.2	29.3	29.70	0.42
9	29.3	28.9	29.2	30.0	30.3	30.6	29.8	29.73	0.62
10	30.9	30.6	30.8	30.9	30.8	31.3	30.9	30.89	0.21
11	31.8	30.8	30.6	31.0	31.1	31.2	31.3	31.11	0.38
12	27.3	27.7	27.8	28.2	28.7	28.6	27.9	28.03	0.50
13	29.2	29.4	28.7	29.0	29.3	29.6	29.4	29.23	0.30
14	30.3	29.5	29.5	29.9	29.7	30.2	29.7	29.83	0.32
15	30.2	30.1	30.1	30.2	30.1	30.3	29.7	30.10	0.19
16	30.4	30.4	29.8	30.3	30.1	30.3	29.9	30.17	0.24
17	31.4	30.9	30.5	31.0	31.0	31.4	31.1	31.04	0.31
18	30.5	30.4	29.7	30.3	30.4	30.8	30.4	30.36	0.33
19	31.2	30.7	30.4	31.2	30.8	30.9	30.8	30.86	0.28
20	31.2	30.8	30.5	30.8	30.6	31.0	30.8	30.81	0.23
21	31.3	30.7	30.8	31.3	30.8	30.9	30.5	30.90	0.30
22	31.6	31.4	30.8	31.3	31.2	31.6	30.8	31.24	0.34
23	31.1	30.6	30.3	30.8	30.8	31.1	30.3	30.71	0.33
24	31.2	31.0	30.2	30.3	30.4	30.6	29.8	30.50	0.48
25	31.6	30.7	30.7	31.1	30.8	30.8	30.8	30.93	0.33

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	30.16		29.77		30.13		29.99
		29.93		30.22		30.43	
S	1.23		0.87		0.72		0.85
		0.96		0.83		0.77	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	30.10
S	00.91

TABELLE 4

MESSDATEN ELEMENT 8

K A V O , VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
 SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
 NR.

MESSUNG BEI ELEMENT
 1 2 3 4 5 6 7 M / S

1	32.5	32.5	32.7	32.7	32.8	32.7	32.7	32.66	0.11
2	33.2	33.0	33.2	33.2	33.4	33.2	33.5	33.24	0.16
3	34.5	34.5	34.6	34.6	34.6	34.5	34.7	34.57	0.08
4	34.4	34.2	34.5	34.5	34.3	34.3	34.3	34.36	0.11
5	31.3	31.3	31.5	31.7	31.7	31.7	31.8	31.57	0.21
6	33.5	33.5	33.5	33.5	33.6	33.5	33.6	33.53	0.05
7	35.2	35.0	35.0	35.0	35.0	35.1	35.2	35.07	0.10
8	34.4	34.3	34.4	34.3	34.5	34.4	34.3	34.37	0.08
9	31.2	31.2	31.1	31.3	31.4	31.4	31.5	31.30	0.14
10	35.4	35.2	35.4	35.3	35.3	35.2	35.4	35.31	0.09
11	35.5	35.4	35.4	35.4	35.5	35.5	35.4	35.44	0.05
12	32.1	32.1	32.4	32.5	32.4	32.4	32.5	32.34	0.17
13	33.3	33.3	33.7	33.8	33.9	33.7	33.6	33.61	0.23
14	34.0	33.8	34.1	34.2	34.3	34.2	34.2	34.11	0.17
15	34.0	33.9	34.2	34.2	34.4	34.5	34.3	34.21	0.21
16	34.8	34.7	34.8	34.6	34.7	34.7	34.7	34.71	0.07
17	35.0	35.1	35.1	35.2	35.3	35.2	35.2	35.16	0.10
18	35.1	35.2	35.2	35.2	35.1	35.0	35.1	35.13	0.08
19	35.7	35.5	35.6	35.4	35.5	35.4	35.6	35.53	0.11
20	35.2	35.3	35.2	35.2	35.2	35.3	35.3	35.24	0.05
21	35.3	35.2	35.2	35.4	35.4	35.4	35.4	35.33	0.10
22	35.4	35.5	35.6	35.5	35.4	35.5	35.7	35.51	0.11
23	34.9	34.8	34.8	34.7	34.6	34.5	34.5	34.69	0.16
24	34.7	34.6	34.7	34.8	34.7	34.8	34.9	34.74	0.10
25	35.3	35.2	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.29	0.04

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M	34.24	34.29	34.33	34.35
	34.17	34.30	34.30	
S	1.31	1.25	1.18	1.19
	1.29	1.20	1.19	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	34.28
S	0.21

TABELLE 5

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

K A V O , VERSUCHSREIHE 1

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS
SUCH M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1.7	2.1	2.3	2.6	2.3	2.2	1.9	02.16	0.29
2	1.9	2.4	1.9	2.6	2.1	2.2	1.8	02.13	0.29
3	1.5	1.4	1.9	2.5	2.5	2.3	1.5	01.97	0.46
4	1.8	1.8	2.0	2.2	1.9	2.1	1.7	01.93	0.18
5	1.7	1.8	1.8	2.6	2.9	3.3	2.8	02.41	0.64
6	1.5	1.4	1.1	1.7	2.1	3.0	2.5	01.90	0.67
7	1.6	1.4	1.5	1.6	1.7	2.2	2.3	01.76	0.35
8	1.7	1.4	1.4	2.3	2.1	2.3	1.4	01.80	0.42
9	1.5	1.2	1.5	2.3	2.5	2.9	2.0	02.03	0.62
10	1.9	1.6	1.8	1.9	1.8	2.3	1.9	01.89	0.21
11	2.8	1.8	1.6	2.0	2.1	2.2	2.3	02.11	0.38
12	1.5	1.9	2.0	2.4	2.9	2.8	2.1	02.23	0.50
13	3.0	3.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.2	03.03	0.30
14	3.0	2.2	2.2	2.6	2.4	2.9	2.4	02.53	0.32
15	2.8	2.7	2.7	2.8	2.7	2.9	2.3	02.70	0.19
16	3.0	3.0	2.4	2.9	2.7	2.9	2.5	02.77	0.24
17	3.0	2.5	2.1	2.6	2.6	3.0	2.7	02.64	0.31
18	2.7	2.6	1.9	2.5	2.6	3.0	2.6	02.56	0.33
19	2.4	1.9	1.6	2.4	2.0	2.1	2.0	02.06	0.28
20	2.8	2.4	2.1	2.4	2.2	2.6	2.4	02.41	0.23
21	2.8	2.2	2.3	2.8	2.3	2.4	2.0	02.40	0.30
22	2.9	2.7	2.0	2.5	2.5	2.9	2.0	02.54	0.34
23	2.4	1.9	1.5	2.0	2.0	2.4	1.5	02.01	0.33
24	2.7	2.5	1.7	1.8	1.9	2.1	1.3	02.00	0.48
25	3.3	2.4	2.4	2.8	2.5	2.5	2.5	02.63	0.33

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	02.32		01.94		02.34		02.16
		02.10		02.39		02.60	
S	0.61		0.39		0.37		0.46
		0.54		0.37		0.40	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	02.26
S	00.49

TABELLE 6

DIFFERENZ ELEMENT 3 - ELEMENTE 1-7

K A V O , VERSUCHSREIHE 1

VER- SUCH NR.	ANGABEN IN GRAD CELSIUS								
	(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)								
	MESSUNG	BEI	ELEMENT					M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	4.2	3.8	3.8	3.5	3.9	3.9	4.2	03.90	0.24
2	4.2	3.5	4.2	3.5	4.2	3.9	4.6	04.01	0.41
3	4.7	4.9	4.4	3.8	3.8	4.0	4.9	04.40	0.46
4	4.8	4.6	4.7	4.5	4.5	4.4	4.8	04.63	0.15
5	3.2	3.1	3.3	2.7	2.4	2.0	2.5	02.76	0.47
6	4.7	4.8	5.1	4.5	4.2	3.2	3.8	04.33	0.65
7	5.0	5.0	4.9	4.8	4.7	4.3	4.3	04.71	0.30
8	4.8	5.0	5.1	4.0	4.5	4.2	5.0	04.67	0.41
9	1.9	2.3	1.9	1.3	1.1	.7	1.7	01.57	0.53
10	4.5	4.6	4.6	4.4	4.5	3.9	4.5	04.43	0.24
11	3.7	4.6	4.8	4.4	4.4	4.3	4.1	04.33	0.35
12	4.8	4.3	4.6	4.3	3.7	3.8	4.6	04.31	0.42
13	4.0	3.9	5.0	4.8	4.6	4.1	4.2	04.39	0.41
14	3.7	4.3	4.5	4.3	4.5	4.0	4.5	04.29	0.33
15	3.8	3.8	4.1	4.0	4.3	4.2	4.5	04.11	0.29
16	4.4	4.3	5.0	4.3	4.6	4.4	4.8	04.54	0.27
17	3.6	4.2	4.5	4.2	4.3	3.8	4.1	04.11	0.33
18	4.5	4.8	5.5	4.9	4.7	4.2	4.7	04.77	0.39
19	4.5	4.8	5.2	4.2	4.7	4.5	4.8	04.67	0.31
20	4.0	4.5	4.7	4.4	4.6	4.3	4.5	04.43	0.23
21	4.0	4.5	4.4	4.1	4.6	4.5	4.9	04.43	0.30
22	3.8	4.1	4.8	4.2	4.2	3.9	4.9	04.27	0.42
23	3.8	4.2	4.5	3.9	3.8	3.4	4.2	03.97	0.36
24	3.5	3.5	4.5	4.5	4.3	4.2	5.1	04.24	0.55
25	3.7	4.5	4.5	4.2	4.5	4.5	4.5	04.36	0.32

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	04.08		04.52		04.16		04.36
		04.24		04.08		03.87	
S	0.67		0.71		0.80		0.75
		0.64		0.74		0.83	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	04.19
S	00.75

TABELLE 7

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

K A V O , VERSUCHSREIHE 1

VER- SUCH NR.	(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)								
	(M = MITTELWERT)				(S = STANDARDABWEICHUNG)				
	MESSUNG BEI				ELEMENT			M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	5.9	5.9	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	06.06	0.11
2	6.1	5.9	6.1	6.1	6.3	6.1	6.4	06.14	0.16
3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.5	06.37	0.08
4	6.6	6.4	6.7	6.7	6.5	6.5	6.5	06.56	0.11
5	4.9	4.9	5.1	5.3	5.3	5.3	5.4	05.17	0.21
6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	06.23	0.05
7	6.6	6.4	6.4	6.4	6.4	6.5	6.6	06.47	0.10
8	6.5	6.4	6.5	6.4	6.6	6.5	6.4	06.47	0.08
9	3.5	3.5	3.4	3.5	3.7	3.7	3.8	03.60	0.14
10	6.4	6.2	6.4	6.3	6.3	6.2	6.4	06.31	0.09
11	6.5	6.4	6.4	6.4	6.5	6.5	6.4	06.44	0.05
12	6.3	6.3	6.6	6.7	6.6	6.6	6.7	06.54	0.17
13	7.1	7.1	7.5	7.6	7.7	7.5	7.3	07.41	0.23
14	6.7	6.5	6.8	6.9	7.0	6.9	6.9	06.81	0.17
15	6.6	6.5	6.8	6.8	7.0	7.1	6.9	06.81	0.21
16	7.4	7.3	7.4	7.2	7.3	7.3	7.3	07.31	0.07
17	6.6	6.7	6.7	6.8	6.9	6.8	6.8	06.76	0.10
18	7.3	7.4	7.4	7.4	7.3	7.2	7.3	07.33	0.08
19	6.9	6.7	6.8	6.6	6.7	6.6	6.8	06.73	0.11
20	6.8	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9	06.84	0.05
21	6.8	6.7	6.7	6.9	6.9	6.9	6.9	06.83	0.10
22	6.7	6.8	6.8	6.8	6.7	6.8	7.0	06.81	0.11
23	6.2	6.1	6.1	6.0	5.8	5.8	5.8	05.99	0.16
24	6.2	6.1	6.2	6.3	6.2	6.3	6.4	06.24	0.10
25	7.0	6.9	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	06.99	0.04

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	06.40		06.46		06.50		06.52
		06.34		06.47		06.46	
S	0.78		0.81		0.76		0.73
		0.78		0.77		0.76	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	06.45
S	00.76

TABELLE 8

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

K A V O , VERSUCHSREIHE 1

(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
SPRAY	:	26.6	27.1	29.2	27.8	26.4
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
SPRAY	:	27.3	28.6	27.9	27.7	29.0
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
SPRAY	:	29.0	25.8	26.2	27.3	27.4
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
SPRAY	:	27.4	26.4	27.8	28.8	28.4
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
SPRAY	:	28.5	28.7	28.7	28.5	28.3
MITTELWERT	:	27.83				
STANDARDABW.	:	3.90				

TABELLE 9

VERSUCHSDAUER

K A V O , VERSUCHSREIHE 1

(ANGABEN IN MINUTEN UND 1/10 MINUTEN)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
DAUER	:	5.7	5.7	6.5	6.0	6.5
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
DAUER	:	6.2	6.3	5.8	6.1	6.8
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
DAUER	:	6.1	6.6	5.9	6.5	6.1
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
DAUER	:	6.3	5.5	5.8	7.0	6.5
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
DAUER	:	6.5	6.9	6.8	6.5	6.7
MITTELWERT	:	6.29				
STANDARDABW.	:	3.41				

TABELLE 10

MESSDATEN ELEMENTE 1-7

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 1

VER- SUCH NR.	(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)								
	(M = MITTELWERT)				(S = STANDARDABWEICHUNG)				
	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	33.2	33.2	32.4	33.1	32.4	32.5	31.7	32.64	0.56
2	31.2	31.7	32.8	32.8	33.3	32.6	31.5	32.27	0.80
3	31.0	31.0	31.0	31.4	31.4	32.2	31.3	31.33	0.43
4	33.7	33.4	32.9	33.2	33.1	35.6	32.7	33.51	0.98
5	30.6	30.1	29.9	30.7	30.4	30.2	29.7	30.23	0.36
6									
7	29.8	29.7	30.1	31.6	30.2	29.6	29.7	30.10	0.70
8	30.3	30.1	31.3	32.0	31.0	30.4	29.6	30.67	0.81
9	30.9	30.7	31.4	32.7	31.5	31.2	30.0	31.20	0.83
10	29.9	30.6	30.9	32.2	31.8	31.2	30.3	30.99	0.82
11	31.0	30.6	31.3	31.7	31.6	31.0	30.8	31.14	0.41
12									
13	29.9	30.1	30.1	30.6	30.3	30.0	29.0	30.00	0.50
14	29.9	30.2	30.4	31.0	30.5	30.7	30.0	30.39	0.39
15	29.2	29.4	29.5	30.2	30.6	30.5	29.0	29.77	0.65
16	29.2	28.3	28.6	29.3	28.8	28.8	28.4	28.77	0.38
17	28.9	28.5	29.5	31.2	30.1	29.9	29.3	29.63	0.88
18									
19	28.6	28.3	28.8	29.9	29.0	28.8	28.9	28.90	0.50
20	29.8	28.9	29.2	29.7	29.8	29.8	30.7	29.70	0.57
21	28.8	28.3	28.8	29.9	29.1	29.6	29.6	29.16	0.57
22	29.6	29.7	29.7	30.8	30.5	31.0	30.1	30.20	0.57
23	29.7	29.7	29.7	30.6	30.6	30.9	30.8	30.29	0.56
24									
25	30.8	31.0	31.2	32.2	31.4	31.4	30.6	31.23	0.52
26	31.7	31.5	31.4	31.9	31.9	31.5	30.4	31.47	0.51
27	33.6	33.9	34.2	34.8	34.4	34.0	33.1	34.00	0.55
28	35.0	34.9	34.5	36.1	35.1	35.0	34.0	34.94	0.64
29	30.8	30.6	30.7	32.3	32.9	33.6	33.3	32.03	1.31

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	30.68		30.81		31.27		30.58
		30.58		31.68		31.28	
S	1.65		1.59		1.60		1.46
		1.76		1.58		1.78	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	30.98
S	01.66

TABELLE 11

MESSDATEN ELEMENT 8

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	33.0	33.2	32.5	33.2	33.7	33.1	32.8	33.19	0.46
2	32.2	32.9	32.7	32.9	33.2	33.2	33.2	32.90	0.37
3	31.3	31.1	31.2	31.2	33.3	32.1	31.5	31.67	0.79
4	34.3	34.3	34.5	34.1	34.2	35.4	34.5	34.47	0.43
5	31.6	31.1	30.8	31.3	31.1	30.7	30.6	31.03	0.35
6	31.7	31.9	30.5	32.0	31.1	31.1	31.5	31.40	0.53
7	30.7	30.9	31.2	31.2	31.2	31.2	31.1	31.07	0.20
8	31.7	31.7	32.3	32.7	32.6	32.4	31.6	32.14	0.46
9	31.1	31.8	32.0	33.1	32.3	31.9	30.4	31.80	0.86
10	31.5	32.0	32.0	32.0	32.2	31.9	32.0	31.94	0.21
11	31.2	31.3	30.8	30.9	31.3	31.0	31.6	31.16	0.28
12	31.3	31.6	31.4	31.3	31.2	31.7	31.4	31.41	0.18
13	30.5	30.4	30.6	31.8	32.5	32.3	30.1	31.17	1.00
14	30.8	30.3	30.2	29.7	29.8	29.8	29.8	30.06	0.40
15	30.0	30.2	31.0	30.4	30.4	30.3	30.4	30.39	0.31
16	29.7	29.9	30.5	29.8	29.8	29.8	30.4	29.99	0.32
17	31.2	31.1	31.5	31.1	31.6	31.4	32.2	31.44	0.39
18	29.8	30.1	30.5	30.5	29.8	30.1	30.1	30.13	0.29
19	31.8	31.8	31.8	32.0	32.2	32.3	31.2	31.87	0.36
20	31.1	31.2	31.1	31.4	31.3	31.4	31.5	31.29	0.16
21	32.5	32.4	32.8	32.6	32.0	32.1	32.3	32.39	0.28
22	33.0	32.9	32.7	32.6	33.3	32.5	32.0	32.71	0.41
23	37.1	36.9	37.5	36.7	36.8	36.8	36.7	36.93	0.29
24	38.1	37.8	37.8	38.3	37.8	37.8	37.8	37.91	0.20
25	32.2	31.8	31.8	34.1	35.2	35.7	36.1	33.84	1.89

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	32.01		32.07		32.40		32.11
		32.02		32.28		32.32	
S	2.01		1.94		2.02		2.09
		1.91		1.97		2.08	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	32.17
S	01.98

TABELLE 12

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

MICRO-MEGA. VERSUCHSREIHE 1

VER- SUCH NR.	ANGABEN IN				GRAD CELSIUS					
	(M = MITTELWERT)				(S = STANDARDABWEICHUNG)					
	MESSUNG BEI				ELEMENT				M	S
	1	2	3	4	5	6	7			
1	3.2	3.2	2.4	3.1	2.4	2.5	1.7	02.64	0.56	
2	2.5	3.0	4.0	4.0	4.5	3.8	2.8	03.57	0.80	
3	1.9	1.9	1.9	2.3	2.3	3.1	2.2	02.23	0.43	
4	2.8	2.5	2.0	2.3	2.2	4.7	1.8	02.61	0.98	
5	2.2	1.7	1.5	2.3	2.0	1.8	1.3	01.83	0.36	
6	1.5	1.5	1.9	3.4	2.0	1.4	1.5	01.90	0.70	
7	2.5	2.3	3.5	4.2	3.2	2.6	1.8	02.87	0.81	
8	2.5	2.3	3.0	4.3	3.1	2.8	1.6	02.80	0.83	
9	1.8	2.5	2.8	4.1	3.7	3.1	2.2	02.89	0.82	
10	2.2	1.8	2.5	2.9	2.8	2.2	2.0	02.34	0.41	
11	1.7	1.9	1.9	2.4	2.0	1.8	1.7	01.80	0.50	
12	2.5	2.8	3.0	3.6	3.1	3.3	2.6	02.99	0.39	
13	1.5	1.7	1.8	2.5	2.9	2.8	1.3	02.07	0.65	
14	2.6	1.7	2.0	2.7	2.2	2.2	1.8	02.17	0.38	
15	1.4	1.0	2.0	3.7	2.6	2.4	1.8	02.13	0.88	
16	1.9	1.5	2.0	3.2	2.3	2.0	2.2	02.20	0.50	
17	2.5	1.6	1.9	2.4	2.5	2.5	3.4	02.40	0.57	
18	1.0	1.5	1.0	2.1	1.3	1.8	1.8	01.36	0.57	
19	2.0	2.1	2.1	3.2	2.9	3.4	2.5	02.60	0.57	
20	1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.7	2.5	02.09	0.56	
21	1.2	1.4	1.6	2.6	1.8	1.8	1.0	01.63	0.52	
22	1.7	1.5	1.4	1.9	1.9	1.5	1.3	01.47	0.51	
23	1.5	1.9	2.2	2.8	2.4	2.0	1.0	02.00	0.55	
24	2.2	2.1	1.7	3.3	2.3	2.2	1.2	02.14	0.64	
25	1.5	1.3	1.4	3.0	3.6	4.3	4.0	02.73	1.31	

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	02.00		02.13		02.58		01.90
		01.89		02.99		02.60	
S	0.54		0.70		0.70		0.80
		0.61		0.70		0.84	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	02.30
S	00.80

TABELLE 13

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-

MICRO-MEGA. VERSUCHSREIHE 1

VER-
SUCH
NR.(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)

	MESSUNG BEI ELEMENT							M	/ S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	00.5	00.0	00.0	00.1	01.3	00.5	01.0	00.54	0.51
2	01.0	01.2	00.0	00.1	00.0	00.6	01.7	00.63	0.70
3	00.2	00.1	00.2	00.1	01.9	00.1	00.2	00.34	0.71
4	00.5	00.8	01.5	00.8	01.1	00.1	01.8	00.36	0.66
5	01.0	01.0	00.8	00.5	00.7	00.5	00.8	00.80	0.20
6	01.9	02.2	00.3	00.3	00.8	01.5	01.8	01.30	0.73
7	00.4	00.7	00.0	00.7	00.2	00.8	01.5	00.40	0.74
8	00.8	01.0	00.8	00.0	01.0	01.2	01.6	00.94	0.49
9	01.2	01.2	01.1	00.8	00.5	00.6	00.1	00.81	0.41
10	00.5	01.4	00.7	00.2	00.6	00.8	01.2	00.80	0.39
11	01.3	01.2	00.6	00.2	01.0	01.0	02.6	01.16	0.72
12	01.4	01.4	01.0	00.2	00.7	01.0	01.4	01.03	0.42
13	01.3	01.0	01.1	01.5	01.9	01.8	01.1	01.40	0.37
14	01.5	02.0	01.6	00.4	01.0	01.0	01.4	01.29	0.53
15	01.1	01.7	01.5	00.8	00.2	00.3	01.1	00.76	0.86
16	01.1	01.6	01.7	00.1	00.7	01.0	01.5	01.09	0.62
17	01.4	02.2	02.3	01.4	01.8	01.6	01.5	01.74	0.37
18	01.0	01.8	01.7	00.6	00.6	00.5	00.5	00.37	0.56
19	02.2	02.0	02.0	01.2	01.7	01.3	01.1	01.67	0.47
20	01.4	01.5	01.4	00.7	00.6	00.5	00.7	01.00	0.42
21	01.7	01.4	01.5	00.3	00.6	00.6	01.7	01.16	0.57
22	01.3	01.4	01.3	00.6	01.4	01.0	01.6	01.24	0.30
23	03.5	03.0	03.3	01.9	02.3	02.8	03.6	02.93	0.62
24	03.1	02.8	03.3	02.2	02.7	02.8	03.8	02.97	0.50
25	01.4	01.2	01.0	01.8	02.3	02.1	02.8	01.81	0.63

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	01.32		01.26		01.13		01.53
		01.45		00.60		01.04	
S	0.75		0.89		0.72		0.90
		0.71		0.77		0.75	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE :

M	01.19
S	00.82

(NEGATIVE WERTE SIND DURCH EIN NACHGESTELLTES MINUSZEICHEN GEKENNZEICHNET)
TABELLE 14

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	3.6	3.2	2.5	3.2	3.7	3.1	2.8	03.19	0.46
2	3.5	4.2	4.0	4.2	4.5	4.5	4.5	04.20	0.37
3	2.2	2.0	2.1	2.1	4.2	2.9	2.4	02.57	0.79
4	3.4	3.4	3.6	3.2	3.3	4.5	3.6	03.57	0.43
5	3.2	2.7	2.4	2.9	2.7	2.3	2.2	02.63	0.35
6	3.5	3.7	2.3	3.8	2.9	2.9	3.3	03.20	0.53
7	2.9	3.1	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	03.27	0.20
8	3.3	3.3	3.9	4.3	4.2	4.0	3.2	03.74	0.46
9	3.0	3.7	3.9	4.9	4.2	3.8	2.3	03.70	0.86
10	2.7	3.2	3.2	3.2	3.4	3.1	3.2	03.14	0.21
11	3.0	3.1	2.5	2.7	3.1	2.8	3.4	02.96	0.28
12	3.9	4.2	4.0	3.9	3.8	4.3	4.0	04.01	0.18
13	2.8	2.7	2.9	4.0	4.8	4.5	2.4	03.47	1.00
14	4.2	3.7	3.6	3.1	3.2	3.2	3.2	03.46	0.40
15	2.5	2.7	3.5	2.9	2.9	2.8	2.9	02.89	0.31
16	3.0	3.2	3.8	3.1	3.1	3.1	3.7	03.29	0.32
17	3.9	3.8	4.2	3.8	4.3	4.1	4.9	04.14	0.39
18	2.0	2.3	2.7	2.7	2.0	2.3	2.3	02.33	0.29
19	4.2	4.2	4.2	4.4	4.6	4.7	3.6	04.27	0.36
20	2.9	3.0	2.9	3.2	3.1	3.2	3.3	03.09	0.16
21	2.9	2.8	3.2	2.9	2.4	2.4	2.7	02.79	0.28
22	3.0	2.9	2.7	2.5	3.3	2.5	2.0	02.71	0.41
23	5.0	4.9	5.5	4.7	4.8	4.8	4.7	04.93	0.29
24	5.3	5.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.0	05.11	0.20
25	2.9	2.5	2.5	4.8	5.9	6.4	6.8	04.54	1.89

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	03.32		03.38		03.71		03.43
		03.34		03.59		03.64	
S	0.79		0.85		0.92		1.10
		0.75		0.85		1.02	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	03.49
S	00.90

TABELLE 15

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 1

(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
SPRAY	:	30.0	28.7	29.1	30.9	28.4
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
SPRAY	:	28.2	27.8	28.4	28.1	28.8
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
SPRAY	:	28.2	27.4	27.7	26.6	27.5
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
SPRAY	:	26.7	27.3	27.8	27.6	28.2
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
SPRAY	:	29.6	30.0	32.0	32.8	29.3
MITTELWERT	:	28.68				
STANDARDABW.	:	1.53				

TABELLE 16

VERSUCHSDAUER

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 1

(ANGABEN IN MINUTEN UND 1/10 MINUTEN)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
DAUER	:	7.5	6.6	6.7	8.5	6.8
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
DAUER	:	7.1	4.9	5.9	5.0	5.0
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
DAUER	:	5.4	5.0	6.8	6.4	6.1
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
DAUER	:	5.9	5.3	6.1	5.5	7.0
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
DAUER	:	6.7	7.1	7.9	7.8	7.1
MITTELWERT	:	6.40				
STANDARDABW.	:	1.00				

TABELLE 17

MESSDATEN ELEMENTE 1-7

W & H VERSUCHSREIHE 1

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	26.5	27.6	26.9	27.5	27.4	27.0	26.2	27.03	0.54
2	26.9	27.1	26.2	27.2	26.8	26.8	26.3	26.91	0.61
3	27.3	28.1	27.5	29.2	28.6	28.0	27.1	28.09	0.72
4	27.8	27.9	27.9	29.4	28.5	27.9	26.7	28.06	0.85
5	28.2	28.4	27.8	28.7	29.0	28.5	27.6	28.31	0.49
6	29.2	29.2	28.6	29.8	29.1	28.5	27.2	28.80	0.83
7	28.7	28.9	28.2	29.2	28.7	28.2	27.6	28.50	0.54
8	29.4	30.0	28.6	29.5	29.2	28.7	27.7	29.01	0.75
9	29.1	28.8	28.3	29.9	29.6	29.0	27.7	28.79	0.61
10	30.7	30.3	29.7	30.0	30.0	29.4	28.3	29.77	0.77
11	29.4	29.8	28.8	29.8	29.7	29.0	27.8	29.19	0.73
12	28.6	28.4	28.5	30.1	29.4	28.6	27.4	28.71	0.85
13	29.0	30.0	28.4	29.2	29.0	28.4	27.7	28.81	0.73
14	28.9	29.2	28.2	28.9	29.2	28.8	27.8	28.71	0.52
15	29.0	28.2	28.4	29.4	29.2	28.9	27.9	28.71	0.56
16	29.5	29.6	28.8	29.6	29.2	29.2	28.4	29.19	0.45
17	29.1	29.7	28.9	29.9	29.6	29.2	28.3	29.24	0.55
18	29.6	29.3	28.8	29.7	29.3	29.2	27.8	29.10	0.64
19	28.8	27.5	28.6	29.8	29.6	29.2	28.3	28.83	0.79
20	28.7	28.7	28.2	29.7	29.9	28.8	28.1	28.86	0.67
21	29.1	27.3	26.7	27.3	27.4	27.9	27.4	27.59	0.75
22	28.5	29.1	28.2	28.8	28.5	28.3	27.5	28.41	0.50
23	28.0	28.4	27.5	28.1	27.9	27.4	26.5	27.69	0.63
24	28.8	28.2	27.6	28.3	28.7	28.2	26.8	28.09	0.69
25	29.2	28.4	27.8	28.9	28.7	28.2	27.4	28.37	0.63

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	28.79		28.12		28.20		27.50
		29.72		29.08		28.45	
S	0.79		0.76		0.60		0.62
		0.89		0.82		0.68	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE :

M	28.51
S	00.91

TABELLE 18

MESSDATEN ELEMENT 8

N & H . VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

MESSUNG BEI ELEMENT
1 2 3 4 5 6 7 M / S

1	27.4	28.0	28.3	28.4	28.5	28.5	28.5	28.23	0.41
2	27.5	27.6	27.5	27.6	27.7	28.0	27.8	27.67	0.18
3	28.5	28.8	28.8	28.9	29.2	29.2	29.1	28.93	0.26
4	28.8	29.2	29.4	29.2	29.3	29.2	29.1	29.17	0.19
5	29.1	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.19	0.04
6	29.7	29.9	29.8	29.8	29.8	29.8	29.6	29.77	0.10
7	29.7	29.8	29.9	29.8	29.8	29.8	29.7	29.79	0.07
8	30.3	30.4	30.5	30.5	30.7	30.6	30.4	30.49	0.13
9	29.8	29.9	29.9	29.9	30.1	30.1	30.0	29.96	0.11
10	31.1	31.2	31.3	31.3	31.2	31.1	31.0	31.17	0.11
11	30.2	30.2	30.3	30.3	30.4	30.4	30.2	30.29	0.09
12	28.8	29.2	29.2	28.5	28.5	29.5	29.2	28.99	0.39
13	29.3	29.4	29.5	29.5	29.6	29.6	29.5	29.49	0.11
14	29.6	29.7	29.6	29.7	29.8	29.9	29.8	29.73	0.11
15	29.9	30.0	30.0	29.9	30.0	30.0	29.9	29.96	0.05
16	30.0	30.1	30.3	30.4	30.6	30.6	30.5	30.36	0.24
17	30.2	30.3	30.4	30.5	30.5	30.6	30.4	30.41	0.13
18	30.2	30.5	30.5	30.5	30.6	30.6	30.5	30.49	0.13
19	30.0	30.0	30.1	30.2	30.2	30.3	30.3	30.16	0.13
20	30.0	30.1	30.0	30.4	30.6	30.6	30.7	30.34	0.30
21	27.8	27.9	27.8	28.0	28.2	28.3	28.2	28.03	0.21
22	29.4	29.6	29.6	29.5	29.7	29.8	30.1	29.67	0.23
23	28.5	28.8	28.8	28.9	29.1	29.0	28.7	28.83	0.20
24	28.7	28.9	28.9	28.8	29.0	29.0	28.8	28.87	0.11
25	29.2	29.3	29.2	29.3	29.4	29.5	29.3	29.31	0.11

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M	29.35		29.55		29.67		29.62
		29.52		29.56		29.73	
S	0.92		0.88		0.87		0.82
		0.86		0.89		0.80	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE :

M	29.57
S	00.86

TABELLE 19

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

W & H . VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

MESSUNG BEI ELEMENT

1 2 3 4 5 6 7 M / S

1	1.9	3.0	2.3	3.0	2.8	2.4	1.6	02.43	0.54
2	3.2	2.3	1.4	2.4	2.0	2.0	1.9	02.11	0.61
3	3.7	3.3	3.3	5.0	4.5	3.8	2.9	03.39	0.72
4	3.3	3.4	3.4	4.9	4.3	3.4	2.2	03.56	0.85
5	3.7	3.9	3.3	4.2	4.5	4.0	3.1	03.81	0.49
6	4.4	4.4	3.8	5.0	4.3	3.7	3.4	04.00	0.83
7	3.4	3.6	2.9	3.9	3.4	2.9	2.3	03.20	0.54
8	4.2	4.8	3.4	4.3	4.0	3.5	2.5	03.81	0.75
9	3.8	3.5	3.0	3.7	4.3	3.7	2.4	03.49	0.61
10	4.7	4.3	3.7	4.0	4.0	3.4	2.3	03.77	0.77
11	3.9	4.3	3.3	4.3	4.2	3.5	2.3	03.69	0.73
12	3.2	3.0	3.1	4.7	4.0	3.2	2.0	03.31	0.85
13	3.7	4.7	3.1	3.9	3.7	3.1	2.4	03.51	0.73
14	3.6	3.9	2.9	3.6	3.9	3.5	2.5	03.41	0.52
15	3.0	2.2	2.4	3.4	3.2	2.9	1.9	02.71	0.56
16	2.9	3.0	2.2	3.0	2.6	2.6	1.8	02.59	0.45
17	3.0	3.6	2.8	3.3	3.5	3.1	2.2	03.14	0.55
18	3.8	3.5	3.0	3.9	3.5	3.4	2.0	03.30	0.64
19	3.0	1.7	2.8	4.0	3.3	3.4	2.5	03.03	0.79
20	2.8	2.8	2.3	3.3	3.9	2.9	2.2	02.96	0.67
21	4.1	2.3	1.7	2.3	2.4	2.9	2.4	02.59	0.75
22	3.0	3.6	2.7	3.3	3.0	2.8	2.0	02.91	0.50
23	3.3	3.7	2.8	3.4	3.2	2.7	1.8	02.99	0.63
24	3.9	3.3	2.7	3.4	3.8	3.3	1.9	03.19	0.69
25	4.4	3.6	3.0	4.1	3.9	3.4	2.6	03.57	0.63

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M	03.52		02.85		03.63		02.23
		03.45		03.81		03.18	
S	0.62		0.57		0.67		0.37
		0.79		0.71		0.47	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	03.24
S	00.79

TABELLE 20

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-

W & H , VERSUCHSREIHE 1

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
 SUCH (M = MITTELWERT) S = STANDARDABWEICHUNG)
 NR.

MESSUNG BEI ELEMENT

1 2 3 4 5 6 7 M / S

1	00.8	00.3	01.4	00.7	01.1	01.5	02.3	01.20	0.61
2	00.5-	00.5	01.3	00.3	00.9	01.2	01.5	00.76	0.69
3	00.6	00.6	01.3	00.3-	00.4	01.2	02.0	00.84	0.74
4	01.0	01.3	01.5	00.1-	00.5	01.3	02.4	01.11	0.82
5	00.8	00.8	01.4	00.5	00.2	00.7	01.6	00.87	0.49
6	00.5	00.6	01.2	00.0	00.6	01.3	02.4	00.97	0.77
7	01.0	00.8	01.7	00.5	01.0	01.5	02.1	01.29	0.53
8	00.8	00.3	01.9	01.0	01.5	01.9	02.7	01.47	0.77
9	00.6	01.1	01.6	00.8	00.5	01.1	02.3	01.17	0.61
10	00.3	00.9	01.5	01.3	01.2	01.7	02.7	01.40	0.72
11	00.8	00.4	01.5	00.5	00.6	01.4	02.4	01.10	0.71
12	00.1	00.8	00.7	01.6-	00.8-	00.8	01.8	00.27	1.16
13	00.2	00.6-	01.1	00.2	00.6	01.2	01.8	00.67	0.78
14	00.7	00.5	01.4	00.8	00.5	01.1	02.0	01.01	0.53
15	00.8	01.8	01.6	00.5	00.7	01.1	02.0	01.24	0.56
16	00.5	00.5	01.5	00.7	01.4	01.4	02.1	01.17	0.59
17	01.1	00.5	01.5	00.6	00.8	01.4	02.1	01.17	0.54
18	00.6	01.2	01.7	00.7	01.3	01.4	02.7	01.39	0.69
19	01.2	02.5	01.5	00.4	00.6	01.0	02.0	01.33	0.74
20	01.3	01.4	01.8	00.6	00.8	01.8	02.6	01.49	0.65
21	01.3-	00.6	01.0	00.7	00.8	00.3	00.8	00.44	0.80
22	00.8	00.5	01.4	00.7	01.2	01.5	02.6	01.26	0.69
23	00.5	00.3	01.3	00.7	01.2	01.6	02.2	01.14	0.64
24	00.0-	00.6	01.3	00.5	00.2	00.7	02.0	00.79	0.69
25	00.0	00.8	01.4	00.3	00.6	01.3	01.9	00.94	0.65

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M	00.56		01.43		00.76		02.12
		00.80		00.48		01.28	
S	0.57		0.25		0.49		0.43
		0.57		0.56		0.34	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE :

M	01.06
S	00.72

(NEGATIVE WERTE SIND DURCH EIN NACHGESTELLTES MINUSZEICHEN GEKENNZEICHNET)
 TABELLE 21

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

W & H . VERSUCHSREIHE 1

VER- SICH NR. ANGABEN IN GRAD CELSIUS
(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	2.8	3.4	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	03.63	0.41
2	2.7	2.8	2.7	2.8	2.9	3.2	3.0	02.87	0.18
3	4.3	4.5	4.5	4.7	5.0	5.0	4.9	04.73	0.26
4	4.3	4.7	4.9	4.7	4.8	4.7	4.6	04.67	0.19
5	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	04.69	0.04
6	4.9	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8	04.97	0.10
7	4.4	4.5	4.6	4.5	4.5	4.5	4.4	04.49	0.07
8	5.0	5.2	5.3	5.3	5.5	5.4	5.2	05.29	0.13
9	4.5	4.6	4.6	4.6	4.8	4.8	4.7	04.66	0.11
10	5.1	5.2	5.3	5.3	5.2	5.1	5.0	05.17	0.11
11	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	4.7	04.79	0.09
12	3.4	3.8	3.8	3.1	3.1	4.1	3.8	03.59	0.39
13	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.2	04.19	0.11
14	4.3	4.4	4.3	4.4	4.5	4.6	4.5	04.43	0.11
15	3.9	4.0	4.0	3.9	4.0	4.0	3.9	03.96	0.05
16	3.4	3.5	3.7	3.8	4.0	4.0	3.9	03.76	0.24
17	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.3	04.31	0.13
18	4.4	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.7	04.69	0.13
19	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	04.36	0.13
20	4.1	4.2	4.1	4.5	4.7	4.7	4.8	04.44	0.30
21	2.8	2.9	2.8	3.0	3.2	3.3	3.2	03.03	0.21
22	3.9	4.1	4.1	4.0	4.2	4.3	4.6	04.17	0.23
23	3.8	4.0	4.0	4.2	4.4	4.3	4.0	04.13	0.20
24	3.8	4.0	4.0	3.9	4.1	4.1	3.9	03.97	0.11
25	4.4	4.5	4.4	4.5	4.6	4.7	4.5	04.51	0.11

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	04.08		04.28		04.40		04.35
		04.25		04.29		04.46	
S	0.66		0.64		0.63		0.54
		0.62		0.64		0.52	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	04.30
S	00.61

TABELLE 22

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

W & H , VERSUCHSREIHE 1

(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
SPRAY	:	24.6	24.8	24.2	24.5	24.5
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
SPRAY	:	24.8	25.3	25.2	25.3	26.0
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
SPRAY	:	25.5	25.4	25.3	25.3	26.0
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
SPRAY	:	26.6	26.1	25.8	25.8	25.9
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
SPRAY	:	25.0	25.5	24.7	24.9	24.8
MITTELWERT	:	25.27				
STANDARDABW.	:	0.60				

TABELLE 23

VERSUCHSDAUER

W & H , VERSUCHSREIHE 1

(ANGABEN IN MINUTEN UND 1/10 MINUTEN)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
DAUER	:	5.0	6.8	6.0	4.9	6.8
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
DAUER	:	6.4	6.5	4.9	6.0	5.4
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
DAUER	:	5.4	5.4	5.3	5.7	5.2
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
DAUER	:	5.6	5.2	5.7	6.1	8.3
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
DAUER	:	6.3	6.5	5.7	5.9	5.9
MITTELWERT	:	5.88				
STANDARDABW.	:	0.75				

TABELLE 24

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

K A V O

und
PRÜFKÖRPERVERMESSUNG

Versuchsreihe 1

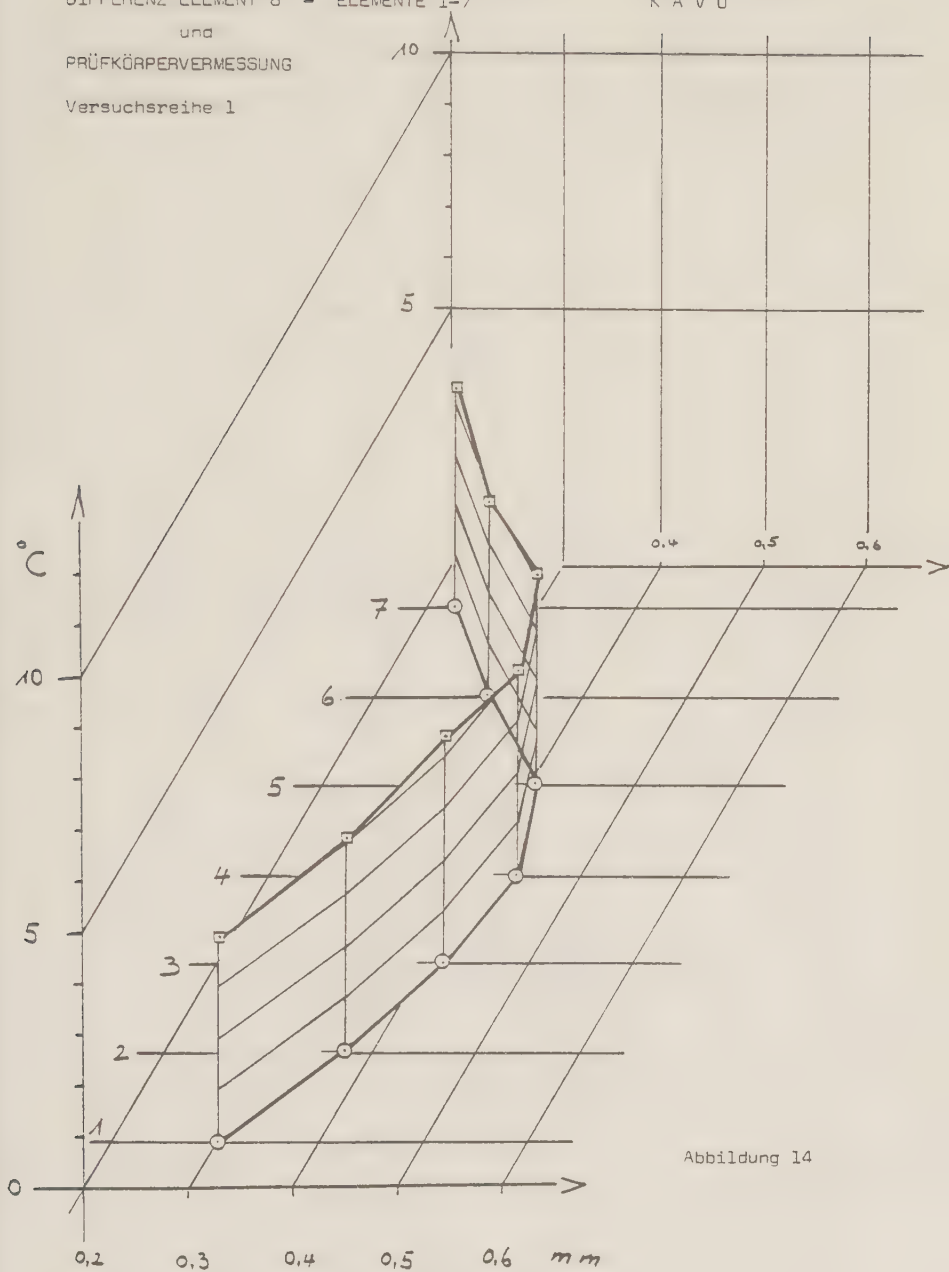


Abbildung 14

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

M I C R O - M E G A

UND

PRÜFKÖRPERVERMESSUNG

Versuchsreihe 1

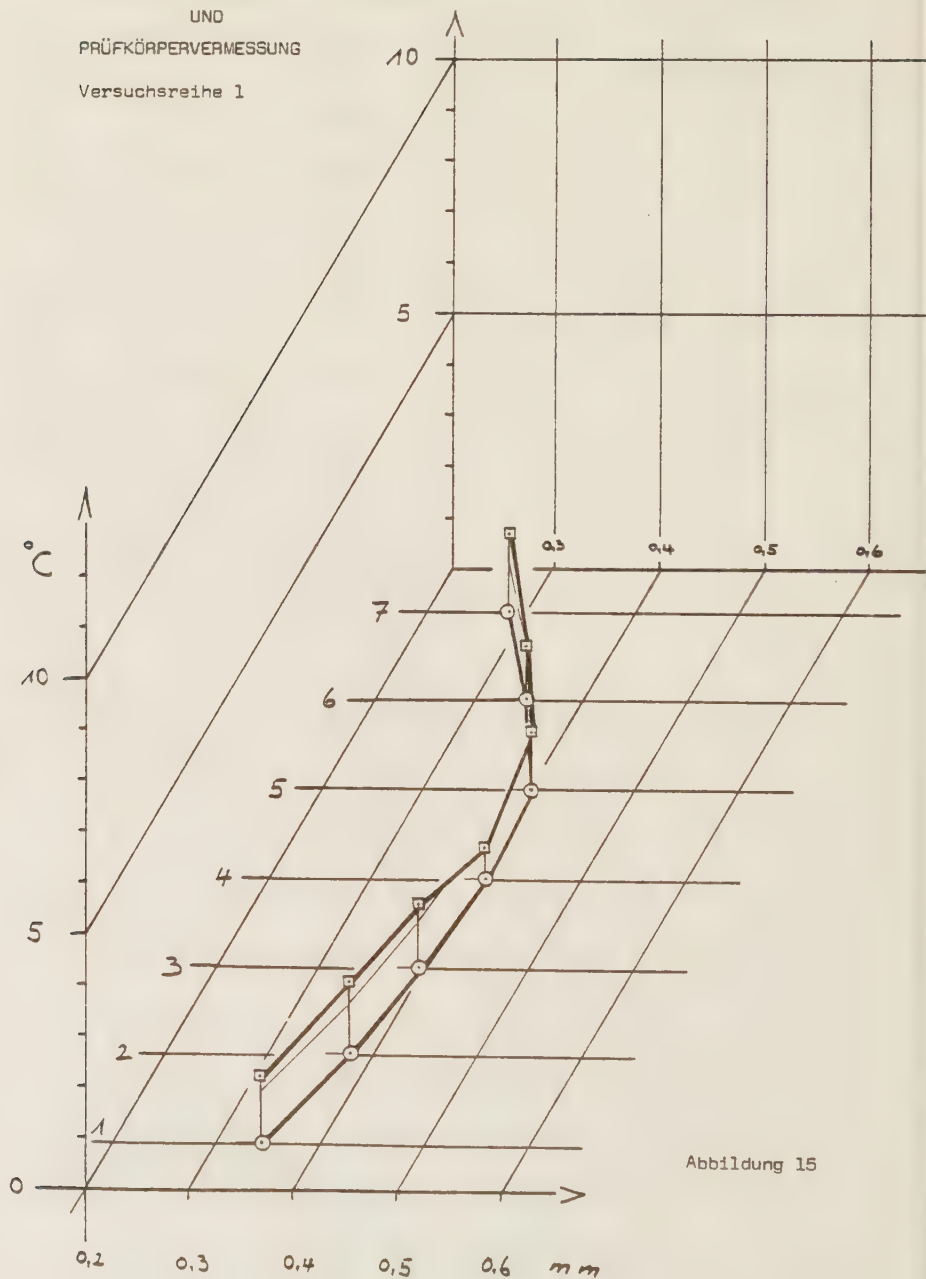


Abbildung 15

und
Prüfkörpervermessung
Versuchsreihe 1

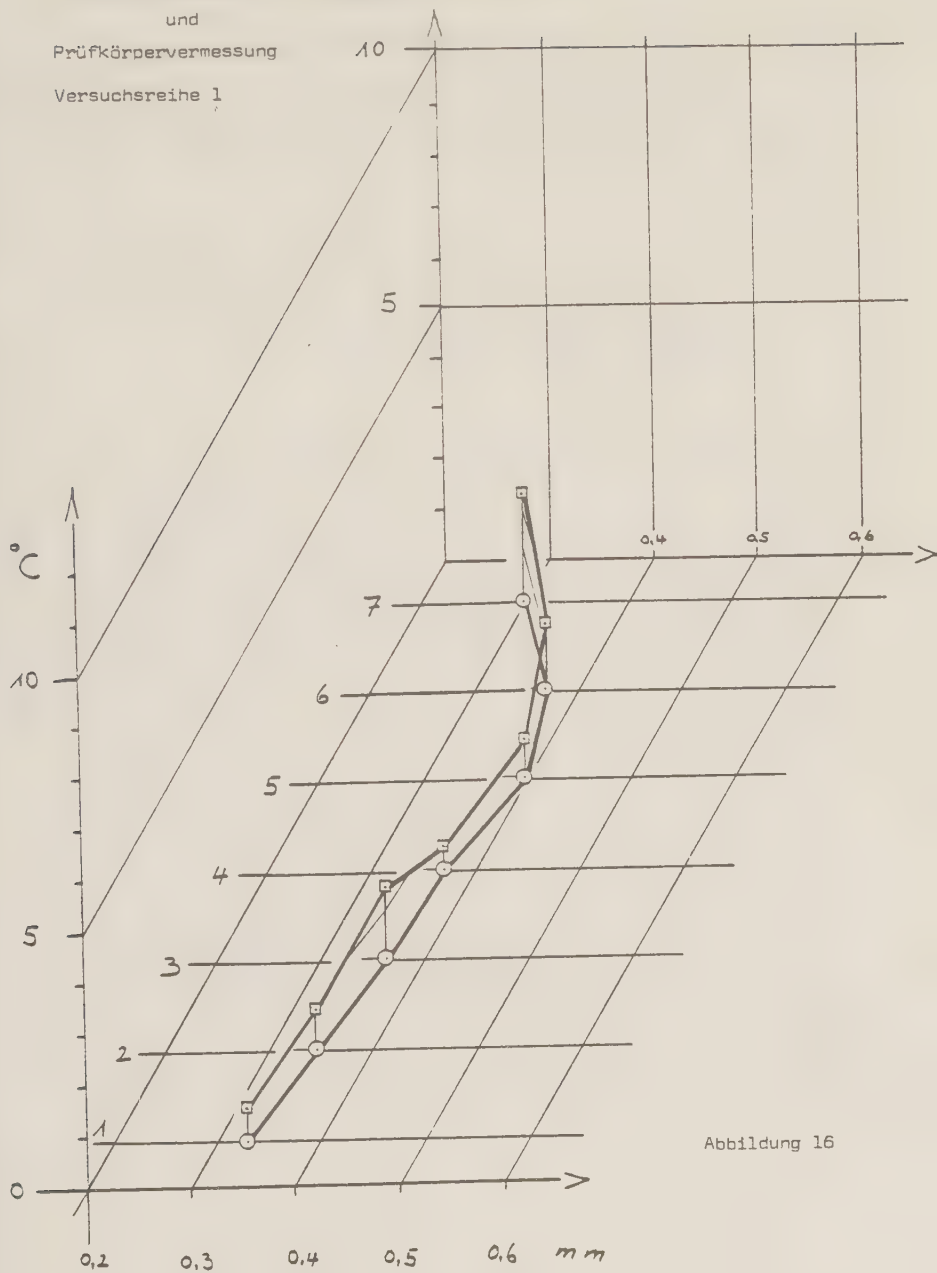


Abbildung 16

2.2.4.1.

Einzelergebnisse

In der Tabelle 25 sind von der Zusammenfassung der sieben Messorte innerhalb der 25 Versuche des jeweiligen Winkelstuecks folgende Werte der drei untersuchten Fabrikate gegeneubergestellt:

- 1.) Der niedrigste Wert (Min.) und das Thermoelement, an dem er auftrat (El. 1-7) bzw. der Versuch (V. ...)
- 2.) Der hoechste Wert (Max.) und das Thermoelement, an dem er auftrat (El. 1-7) bzw. der Versuch (V. ...)
- 3.) Der Mittelwert aller 175 Einzeldaten der 25 Versuche (M.).
- 4.) Die Standardabweichung von M. (S.).

Die Messdaten der Elemente 1-7 lassen sich nicht unmittelbar miteinander vergleichen, da die unterschiedlichen Anfangstemperaturen der Versuche noch nicht beruecksichtigt sind.

Fuer die Messdaten der Elemente 8 gilt im Grunde genommen das gleiche. Zu beachten ist, dass die Temperaturen am Schaft der Winkelstuecke nicht hoeher als $38,3^{\circ}\text{C}$ bei einer Spraytemperatur von $32,8^{\circ}\text{C}$ (Micro-Mesa, Vers. 24) bei den Einzelwerten lag und dass der hoechste Mittelwert mit $34,4^{\circ}\text{C}$ bei durchschnittlich $27,8^{\circ}\text{C}$ Spraytemperatur vom Kavo-Winkelstueck am Messort 7 erreicht wurde. Es finden sich also durchwegs Temperaturen, die als normal bezeichnet werden koennen. Eine uebermaessige Erwaermung der Winkelstuecke konnte in keinem Fall beobachtet werden.

Betrachtet man die Standardabweichungen der Schafttemperaturen innerhalb der einzelnen Versuche, so stellt man erfreulich geringe Werte fest (maximal 0,23 bei Kavo (Vers. 13), 1,89 bei Micro-Mesa (Vers. 25) und 0,41 bei W & H (Vers. 1)), was fuer eine gute Konstanz der Versuchsbedingungen auf Seiten der Spraytemperaturen spricht.

Die Differenz der Elemente 1-7 - Spray gibt die maximale Temperaturerhoehung an den entsprechenden Messorten im Verlauf des Versuchs gegeneuber der Anfangsspraytemperatur an. Als hoechsten Einzelwert finden wir eine Erhoehung um $5,0^{\circ}\text{C}$ bei einer Spraytemperatur von $24,2^{\circ}\text{C}$ bzw. $24,8^{\circ}\text{C}$ in Versuch 3 bzw. 6 beim Winkelstueck W & H. Der hoechste Durchschnittswert laesst sich mit $3,8^{\circ}\text{C}$ Erhoehung bei durchschnittlichen Spraytemperaturen von $25,3^{\circ}\text{C}$ ebenfalls bei W & H feststellen.

Übersicht Auswertung Versuchsreihe 1 Tabelle 15

WERT FAKTORIAT ELEMENT NR. 1 VERSUCH NR.

KATO MICRO-MESA 0.3.4

MESSDATEN ELEMENTE 1 - 7

Min.	29.8 (El. 3)	30.6 (El. 2 u. 7)	27.5 (El. 7)
Max.	30.4 (El. 6)	31.7 (El. 4)	29.1 (El. 4)
M.	30.13	30.86	28.51
S.	0.91	1.66	0.91

MESSDATEN ELEMENT 8

Min.	34.2 (El. 2)	33.0 (El. 1)	29.4 (El. 1)
Max.	34.4 (El. 7)	33.4 (El. 5)	29.7 (El. 6)
M.	34.23	32.17	29.57
S.	1.21	1.59	0.55

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

Min.	1.9 (El. 3)	1.5 (El. 2 u. 7)	1.2 (El. 7)
Max.	2.4 (El. 4)	3.0 (El. 4)	3.6 (El. 4)
M.	2.26	1.50	3.24
S.	0.49	0.90	0.79

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

Min.	3.9 (El. 6)	3.6 (El. 4)	3.5 (El. 4)
Max.	4.5 (El. 3)	1.5 (El. 7)	2.1 (El. 7)
M.	4.19	1.19	1.05
S.	0.75	0.82	0.72

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

Min.	6.3 (El. 2)	3.3 (El. 1)	4.1 (El. 1)
Max.	6.5 (El. 7)	3.7 (El. 5)	4.5 (El. 6)
M.	6.43	3.49	4.30
S.	0.76	0.90	0.51

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

Min.	25.8 (V. 12)	26.6 (V. 14)	24.2 (V. 3)
Max.	29.0 (V. 10 u. 11)	32.3 (V. 24)	28.6 (V. 16)
M.	27.83	28.68	25.27
S.	2.90	1.53	0.60

VERSUCHSDAUER (in Minuten u. 1/10 Minuten)

Min.	5.5 (V. 17)	4.9 (V. 7)	4.9 (V. 4 u. 8)
Max.	7.0 (V. 19)	8.5 (V. 4)	6.3 (V. 20)
M.	6.29	6.40	5.63
S.	0.41	1.30	0.73

Dieser Wert wurde an dem Messort 4 ermittelt, der, wie sich aus dem Daten der Prüfkörpervermessung ansehen lässt, eine mittlere Schichtdicke von 0.368 mm hatte, also über dem Gesamtdurchschnittswert von 0.352 mm lag. Eine unsymmetrische Diamantenbahn im Prüfkörper darf damit als Ursache fuer eine maximale Temperatur an dieser Stelle fuer unwahrscheinlich gehalten werden.

Betrachtet man dagegen die geometrischen Gegebenheiten, so stellt man fest, dass der Einduesensspray am Messort 4 maximal vom Prüfkörper behindert wird. Zum Vergleich koennen Messorte betrachtet werden, an denen man von der Geometrie her die geringsten Temperaturen erwarten wuerde, naemlich die Messorte 1 und 7.

Der Messort 1 liegt mit durchschnittlich 3.5 °C ueber dem Gesamtmittelwert von 3.2 °C Temperaturerhoehung. Am Messort 7 finden wir allerdings die geringste Temperaturerhoehung aller Messorte mit 2.2 °C. Es wird vermutet, dass dieser Unterschied der beiden sonst gleichwertigen Messorte daran liegt, dass der Spray am Messort 1 den Diamanten an seiner Auslaufseite trifft, waehrend er am Messort 7 auf die Einlaufseite gerichtet ist und der Spray damit foermlich zur Schleifstelle gesaugt wird.

Bei all diesen Ueberlesungen darf allerdings nicht aus den Augen verloren werden, dass maximale Temperaturerhoehungen von rund 4 °C keinen besorgniserregenden Wert darstellen; es werden damit absolute Temperaturen von nicht mehr als 30 °C mit dem W & H - Winkelstueck erreicht, was also vollkommen innerhalb der unter 1.2.2. geschilderten physiologischen Grenzen liegt.

Fuer die Differenz Element 8 - Elemente 1-7 lassen sich aehnliche Betrachtungen anstellen (siehe auch Abb. 15-16). Hierbei bedeutet ein niedriger Wert, dass am Messort hoehere Temperaturen aufgetreten sind. Negative Werte bedeuten, dass die Temperatur am jeweiligen Messort ueber der des Winkelstueckschafts lag. Es sei daran erinnert, dass diese Werte mit gewissen Einschränkungen die sich waehrend des Versuchs geringfuegis aendernde Spraytemperatur beruecksichtigen. Auch hier zeigt sich wieder, dass im Durchschnitt am Messort 4 bei W & H die staerkste Erwaermung auftritt. Die Temperatur am Element 4 liegt im Schnitt 0.5 °C unter der Temperatur des Winkelstueckschafts. Die Werte fuer Micro-Mess liegen mit 0.6 °C bei Element 4 praktisch im gleichen Bereich (Kavo 3.9 °C bei El. 6).

Ein- und Zweiduesensspray liegen hier also dicht beieinander. Werte, die den physiologischen Bereich verlassen, koennen nicht beobachtet werden.

Auf die Differenz Element 8 - Spray und die Anfangsspraytemperaturen wurde bereits eingegangen. Die Registrierung der Versuchsdauer diente vor allem der Ueberwachung der Versuchsbedingungen.

2.2.4.2.

Zusammenfassende Beurteilung

Die hoechste gemessene Temperatur an den Messorten lag bei 35.6 °C (Micro-Mesa Vers. 4, El. 4) bei einer Spraytemperatur von 30.9 °C. Der hoechste Mittelwert wurde am Messort 4 mit einer Temperaturerhoehung um 3.8 °C beim Fabrikat W & H bei durchschnittlichen Spraytemperaturen von 25.3 °C ermittelt.

Die Versuchsanordnung simulierte in Anlehnung an die Versuche HAHNE's das Anlegen einer flachen, 2 mm tiefen Kavitaet und untersuchte richtungsabhaengige Unterschiede in der Leistungsfaeheigkeit von Kuehlsystemen mit einer unterschiedlichen Anzahl von Sprayduesen.

Derartige Unterschiede konnten unter experimentellen Bedingungen festgestellt werden. Das Einduesenkuehlssystem zeigte dort, wo der Sprayzutritt behindert war, im Durchschnitt die groesste Temperaturerhoehung.

Die Unterschiede zu den anderen Systemen sind allerdings recht gering und liegen in einem Bereich, der keine Schaedigung der Zahnsubstanz erwarten laesst, sofern unter klinischen Bedingungen mit aehnlichem Andruck und gleichen Drehzahl gearbeitet wird. Es ist allerdings zu bedenken, dass unter klinischen Bedingungen auch tiefere Kavitaeten angetroffen werden.

Eine uebermaessige Erwaermung der Winkelstuecke konnte nicht beobachtet werden. Die hoechste gemessene Einzeltemperatur am Schaft des Winkelstuecks lag bei 38.3 °C (Micro-Mesa Vers. 24, El. 4). Der hoechste Mittelwert findet sich mit 34.35 °C bei Kavo (El. 7).

Dabei sind allerdings die unterschiedlichen Anfangsspraytemperaturen noch nicht beruecksichtigt. Danach wird der Schaft des Winkelstuecks von Kavo um durchschnittlich 6.5 °C waermer als der Spray, waehrend die vergleichbaren Werte von W & H bei 4.5 °C und die von Micro-Mesa bei 3.7 °C liegen.

Die Ursachen dafuer sind einmal in der unterschiedlichen Art der Laserung (Kusellaser / Gleitlaser), zum andern aber auch bei den unterschiedlichen Materialien (unterschiedliche Waermeleitfaehigkeit), die fuer die Sprayleitungen im Winkelstueck verwendet wurden (Metall / Kunststoff), zu vermuten.

2.2.4.3.

Besondere Beobachtungen

Von den drei Winkelstuecken war das W & H - Winkelstueck am anzahlsten gebaut; das Praeparationsfeld war sehr gut einzu-
sehen.

Beim W & H - Winkelstueck war der Spray, wie bereits er-
waehnt, nur teilweise innen befuehrt. Der Kuehleffekt durch
den Spray auf das Winkelstueck selbst machte sich deshalb nur
in seinem Kopfbereich, dort aber verstaerkt, bemerkbar. In
der Mitte des Winkelstuecks lagen die Temperaturen hoeher als
an der Stelle, die wegen der Beruehrungsmaesslichkeiten mit
der Lippe der Patienten fuer die Registrierung ausgewaehlt
worden war.

Den (akustisch) ruhigsten Lauf zeigte das Winkelstueck von
Micro-Mesa, dicht gefolgt von Kavo.

Beim Winkelstueck von Micro-Mesa zeigte sich oft schon nach
relativ kurzer Arbeitszeit nebenueber dem Diamanten auf dem
Winkelstueckkopf ein Oeltropfen, der offenbar aus dem Spann-
futter ausgetreten war. Diese Erscheinung war nicht nur auf
ein einzelnes Winkelstueck beschränkt.

Waehrend der ersten Versuchsreihe war ein Ausfall mit einem
Winkelstueck von Micro-Mesa wegen eines Laserschadens zu ver-
zeichnen.

2.3.

VERSUCHSREIHE 2

2.3.1.

VERSUCHSAUFBAU

2.3.1.1.

Änderungen gegenüber der ersten Versuchsreihe

Die Versuchsanordnung der ersten Versuchsreihe simulierte die Präparation verhältnismässig flacher Kavitäten. Wie die entsprechenden Versuchsergebnisse zeigen, ist vom Eindringensspray dabei auch unter Behinderung des Sprazutritts nicht mit Nachteilen in thermischer Hinsicht zu rechnen. Die Verhältnisse gestalten sich jedoch ungünstiger, sobald tiefere Kavitäten zu präparieren oder Kronen zu beschleifen sind.

Die untersuchten Winkelstücke wurden auch unter klinischen Bedingungen am Patienten angewandt, um persönliche Erfahrungen zu sammeln und um eventuelle Beeinträchtigungen der Sicht durch Mehrauesensspray festzustellen. Dabei wurde beim Beschleifen von Kronen unter der Verwendung des Eindringensspray beobachtet, dass bei Behinderung des Sprazutritts, etwa beim Beschleifen distaler Zahnpartien, auch bei vorsichtiger Arbeitsweise sehr leicht ein brandiger Geruch zu bemerken war, ein eindeutiger Hinweis also auf eine unzureichende Kühlung des Kronenstumpfes. Die Präparation von Kronen mit dem Eindringensspray wurde daraufhin unterlassen.

Die geschilderten Beobachtungen waren Anlass, einen experimentellen Ansatz fuer die Temperaturverhältnisse beim Schleifen unter Sprazabschattung zu finden.

Die vorhandene Versuchsanordnung wurde dazu modifiziert. Es wurde eine neue Form der Prüfkörper und ein dazugehöriger Prüfkörperträger entwickelt (Abb. 18, 19 u. 21). Im Gegensatz zur ersten Versuchsreihe wurden die Thermoelemente nicht um den Prüfkörper herum angeordnet, sondern in den Prüfkörperträger eingebossen. Es wurde so eine Situation geschaffen, die schon eher den Gegebenheiten am menschlichen Zahn entsprach, nämlich entsprechenden Abmessungen und einer innenliegenden Temperaturregistrierung, mit dem Vorteil einer grösseren Zahl von Prüfkörpern aus Elfenbein mit weitgehend gleichen Materialeigenschaften.

2.3.1.2.

Prüfkörper der zweiten Versuchsreihe

Der zylinderförmige Prüfkörper (Abb. 21) hatte einen Durchmesser von 10 mm und eine Höhe von 3 mm. Auf einer Drehbank war an der Unterseite eine zylinderförmige Ausparung von 7.8 mm Durchmesser und 2 mm Höhe ausgedreht.

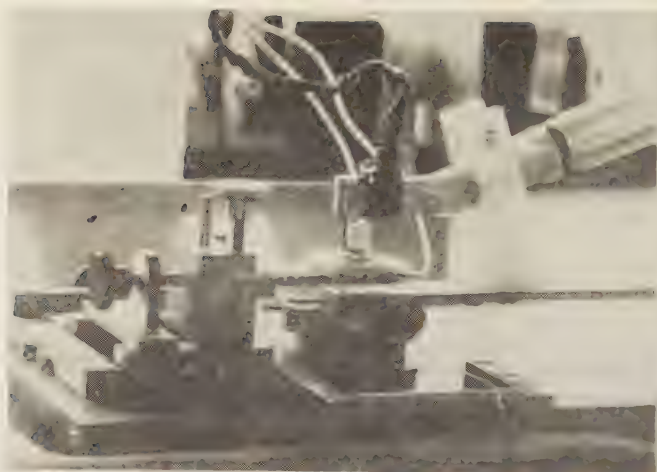


Abb. 17

Versuchsreihe Teilansicht der Versuchsapparatur.

Am Winkelstückschafft Thermoelem. 8 mit Isolierung gegen Zugluft und Nässe.

links:
Mit dem X-Y-Tisch ist der Prüfkörper jetzt dreidimensional justierbar.



Abb. 18

Versuchsreihe Prüfkörper nach dem Versuch.

Über dem Prüfkörper ist der Kunststoffanpresskörper (A in Abb. 21), der den Spray abschattet, zu sehen.



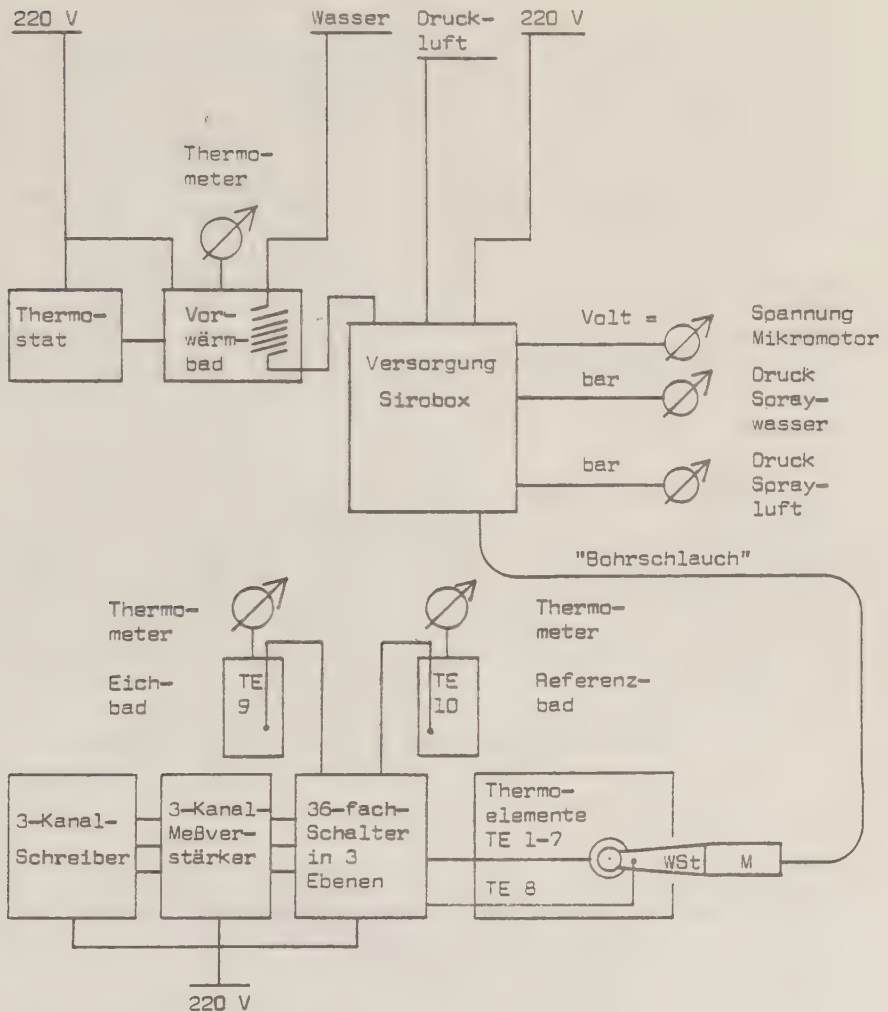
Abb. 19

Wie Abb. 18, jedoch bei entferntem Prüfkörper.

Der Elfenbeinträger für die Thermoelemente und die Thermoelemente selbst sind sichtbar.

Der verbleibende Abstand zwischen Diamant und Thermoelementen ist gut erkennbar.

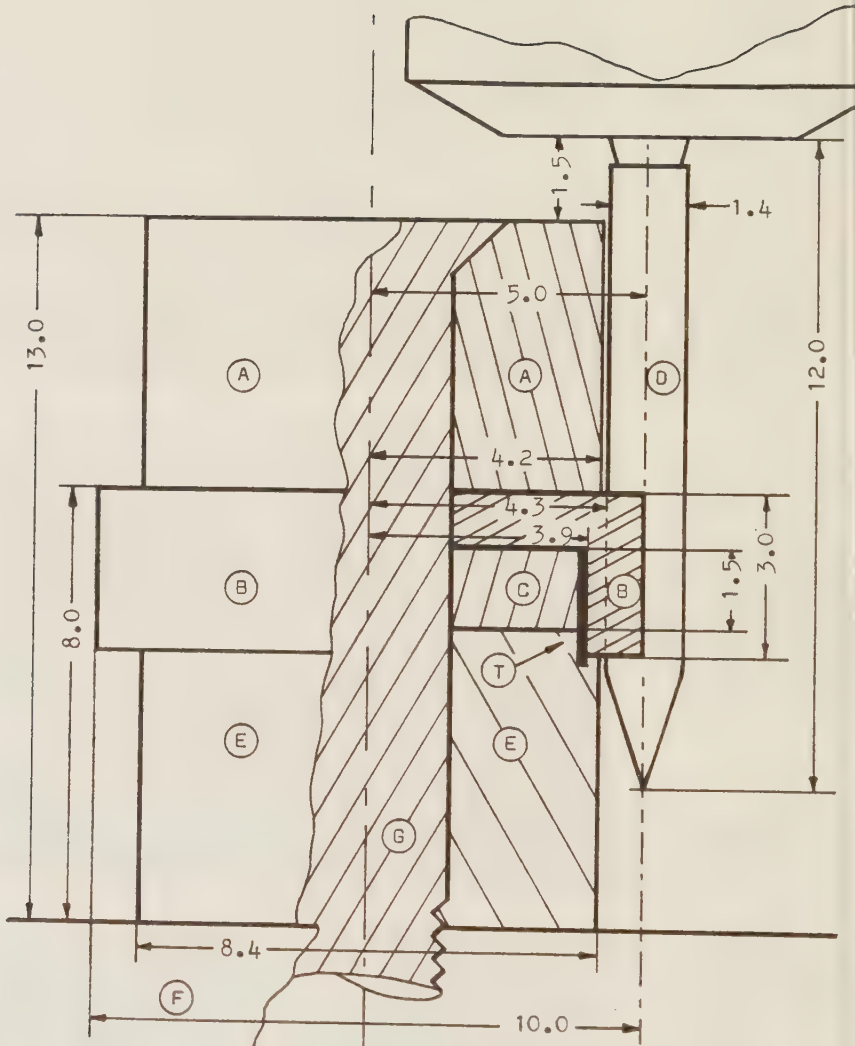
BLOCKDIAGRAMM VERSUCHSREIHE 2



WSt = Winkelstück

M = Mikromotor

Abbildung 20



A = Kunststoff-Anpresskörper

B = Prüfkörper aus Elfenbein

C = Elfenbein-Träger für die Thermoelemente

D = Diamantschleifkörper (869/014)

E = Kunststoff-Träger für A, B, C und die Zuleitungen der Thermoelemente

F = Prüfkörpertisch

G = Gewindebolzen

T = Thermoelement in situ

1 mm

Abbildung 21

In diese Aussparung paßte später der Träger fuer die Thermoelemente. Von der Mantelflaeche des Pruefkoerpers bis zur Aussparung stand somit ein Ringzylinder von 1.1 mm Materialstaerke und 2 mm Hoehe fuer die Versuche zur Verfuesung. Daran wurden etwa 0.7 mm waehrend des Versuchs abgeschliffen, so dass noch eine restliche Materialschicht von etwa 0.4 mm zwischen der Schleifstelle und den innen anliegenden Thermoelementen verblieb (Abb 19). Die genaue Schichtdicke wurde wieder wie bei der ersten Versuchsreihe an jedem Messort ermittelt.

Bei eingespanntem Pruefkoerper kam in dessen Aussparung ein Elfenbeinscheibchen zu liegen, das an seiner Aussenflaeche sieben Schlitze zur Aufnahme der Thermoelemente hatte (Abb. 19 u. 21). Das Scheibchen war fest mit einem Kunststofftraeger aus Kaltpolymerisat zur Aufnahme des Pruefkoerpers verbunden. Die Zuleitungen fuer die Thermoelemente waren in diesen Traeger eingesossen und wurden, durch einen duennen Kunststoffschlauch von dem Spraywasser geschuetzt, zu einem Umschalter gefuehrt.

Ueber den Pruefkoerper kam nach der Montage ein Kunststoffanpresskoerper zu liegen. Er fixierte einerseits den Pruefkoerper von oben auf dem Elfenbeintraeager und dem Kunststofftraeger, andererseits sonstige er fuer die gewuenschte Abschattung des Sprays, die der Situation beim Beschleifen einer Krone entsprechen sollte. Alle bisher beschriebenen Elemente (Anpresskoerper, Pruefkoerper, Elfenbeintraeager und Kunststofftraeger) waren zentral durchbohrt und nahmen einen eng anliegenden, eisens gedrehten Bolzen auf. Dieser Bolzen war nach Art einer Senkkopfschraube hergestellt und erlaubte es, alle genannten Elemente in einer eindeutigen Position auf dem Pruefkoerpertisch mechanisch sicher zu fixieren.

2.1.1.3.

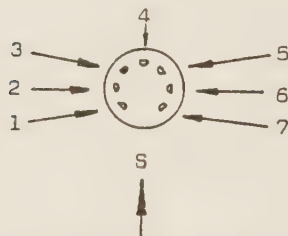
Schleifkoerper

Die Gesamthoehe des Aufbaus betrug 13 mm. Es kamen torpedofoermige Diamanten der Figur 869/014, die von der Firma Haeber & Meisinger, Duesseldorf, freundlicherweise fuer die Versuche zur Verfuesung bestellt wurden, zur Anwendung.

Diese Diamanten haben ein Arbeitsteil von 10 mm Laenge und uebergreifen den Kopf des Winkelstuecks um 12 mm. Der Bereich des Diamanten, der Kontakt mit dem Pruefkoerper hatte, befand sich in einer Entfernung vom Winkelstueck zwischen 6.5 und 9.5 mm, gerechnet von der Unterkante des Winkelstueckkopfes. Vom Pruefkoerper standen aber nur die unteren 2 mm fuer Messungen zur Verfuesung; es wurden also die Temperaturen im Bereich von 7.5 bis 9.5 mm unterhalb des Winkelstuecks gemessen.

Dieser Bereich lag anders ausgedrueckt, 5 bis 8 mm unterhalb der Oberkante des Anpresskoerpers, der die Sprayschattung verursachte. Der Abstand zwischen der Unterkante des Winkelstuecks und der Oberkante des Anpresskoerpers betrug somit 1.5 mm.

Position der Thermoelemente Versuchsreihe 2



S = Startposition des
Diamantschleifers

Der Pfeil gibt die Sprüh-
richtung des Eindüsen-sprays
in der Startposition an.

Abbildung 22

2.3.1.4.

Justierung

Eine weitere Verbesserung ge-
genüber der ersten Versuchs-
reihe betraf die Justier-
möglichkeiten des Prüfkör-
per-tisches. Von der Firma Sie-
mens, Bensheim, wurde die
Prüfapparatur mit einem X-Y-
Tisch ausgerüstet, der es er-
laubte, den Prüfkörper-tisch
nicht nur, wie bei der ersten
Versuchsreihe, in der Höhe zu
verstellen, vielmehr war er
jetzt in drei Dimensionen
justierbar, was die Vorberei-
tungen fuer die Versuche erheb-
lich vereinfachte.

2.3.1.5.

Zustandekommen der Messwerte

Die sieben Thermoelemente im Prüfkörper waren mit einem
36-Pol-Schalter verbunden. Er besass 12 Kontakte in drei
Ebenen, so dass jeweils drei Kontakte gleichzeitig geschaltet
wurden. Weiterhin fuehrten zu diesem Schalter die Leitungen
des Thermoelements 8 (Winkelstueckschaft) und die der Thermoe-
lemente im Eich- und im Referenzbad (Abb. 20). Einzelheiten
wurden bei der ersten Versuchsreihe besprochen.

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde ein Dreikanalschreiber
(Rikadenki B 381) verwendet, der allerdings nicht die Em-
pfindlichkeit des vorher benutzten Einkanalschreibers besass.
Es war daher eine Vorverstaerkung der von den Thermoelementen
kommenden Signale erforderlich. Vom Schalter wurden daher
drei Signalleitungen zu einem dreikanaligen Operations-
verstaerker gefuehrt, von dem aus die verstaerkten Signale
zum Dreikanalschreiber gelangten und dort registriert wurden.

Der 36-Pol Schalter erlaubte folgende Kombinationen der Sig-
nale auf dem Schreiber:

SCHALTER-
POSITION

THERMOELEMENT NR.

	KANAL 1	KANAL 2	KANAL 3
1.)	El. 9	El. 9	El. 9
2.)	El. 8	El. 1	El. 2
3.)	El. 1	El. 2	El. 3
4.)	El. 8	El. 2	El. 3
5.)	El. 2	El. 3	El. 4
6.)	El. 8	El. 3	El. 4
7.)	El. 3	El. 4	El. 5
8.)	El. 8	El. 4	El. 5
9.)	El. 4	El. 5	El. 6
10.)	El. 8	El. 5	El. 6
11.)	El. 5	El. 6	El. 7
12.)	El. 8	El. 6	El. 7

Die Schaltpositionen waren so belegt, dass im Verlauf des Versuchs die Positionen 1 bis 12 durchlaufen wurden. Zunächst wurden in Pos. 1 alle Kanäle in der bewährten Art und Weise mit ihrem Nullpunkt abgeglichen und geeicht. In Pos. 2 wurde der Vorlauf überwacht und der Versuch unter Beobachtung der ersten beiden Thermoelemente im Prüfkörper begonnen.

Nach Überschreiten des Maximalwertes am Element 1 wurde in Pos. 3 umgeschaltet. Der Wert fuer Element 1 und fuer Element 8 (zum Messort 1 gehörend) waren damit registriert.

Jetzt wurde das Maximum von Element 2 abgewartet und dann in Pos. 4 geschaltet, um den Wert fuer Element 8 (zum Messort 2 gehörend) zu messen. Es wurde dann gleich zur Pos. 5 geschaltet, um Element 3 zu beobachten. Mit den weiteren Positionen des Schalters wurde analog vorgegangen.

Wie sich sehen lässt, erlaubt diese Anordnung die Überwachung von jeweils drei nebeneinanderliegenden Thermoelementen im Prüfkörper. Dies war wegen der jetzt geringen räumlichen Entfernung der Elemente und wegen des insgesamt schnelleren Versuchsablaufs (geringerer Umfang der Prüfkörper) erforderlich. Sollten Temperaturnaxima an verschiedenen Elementen fast gleichzeitig auftreten, so wären auch sie sicher registriert worden, da jeweils die Temperaturwerte der Elemente vor und hinter dem eigentlich zu beobachtenden Element mitschrieben wurden.

2.3.1.6.

Versuchsparameter

Im Hinblick auf Drehzahl, Andruck und Spraaufbereitung wurde gegenüber der ersten Versuchsreihe keine Veränderung vorgenommen. Die Prüfapparatur wurde lediglich den geänderten Abmessungen der Prüfkörper angepasst, d. h. das Gewicht fuer den Andruck des Diamanten wurde auf 35 p (incl. 10 p fuer den Ausgleich der Reibung in den Lagern) herabgesetzt.

2.3.2.

MOEGLICHKEITEN UND GRENZEN DER ZWEITEN VERSUCHSAPPARATUR

Im Wesentlichen selten auch hier die Einschränkungen, die bei der Beschreibung der ersten Versuchsreihe gemacht wurden. Es soll hier lediglich auf zusätzliche Aspekte eingegangen werden.

Auf die verbesserten Justiermöglichkeiten wurde bereits hingewiesen. Die geringeren Abmessungen der Prüfkörper machten das ganze System allerdings auch wieder empfindlicher gegenüber mechanischen Unsicherheiten.

Eine höhere Empfindlichkeit gegen Störungen aus dem Stromnetz zeigte sich durch den jetzt verwendeten Vorverstärker für den Schreiber. Die Versuche mussten häufiger auf Zeiten mit geringeren Störungen verschoben werden.

In Vorversuchen wurde die Linearität des Vorverstärkers innerhalb des Registrierbereichs nachgewiesen. Die Genauigkeit der Temperaturmessungen lag jetzt systembedingt bei $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

2.3.3.

ERGEBNISSE DER PRUEFKOEPPERVERMESSUNG (Versuchsreihe 1)

Genau wie bei der ersten Versuchsreihe wurden auch jetzt die Pruefkoepper nach den Versuchen vermessen. Die Tabellen wurden wie unter 2.2.3. beschrieben zusammengestellt. Sofern bei der Vermessung Brandmarken an den Pruefkoeppern beobachtet werden konnten, sind die Messwerte in der Tabelle 28 unterstrichen worden.

Die Auswertung zeigt, dass beim Fabrikat W & H im Mittel der Messort 3 mit 0,458 mm die geringste und am Messort 5 mit 0,528 mm die grösste Schichtdicke bei einem Gesamtdurchschnitt von 0,502 mm gemessen wurde. Alle Einzelwerte liegen zwischen 0,35 mm (Vers. 1, El. 1) und 0,66 mm (Vers. 14, El. 6).

Bei Micro-Mesa war die duennste Stelle im Mittel am Messort 5 mit 0,416 mm und die dickste Stelle am Messort 1 mit 0,522 mm; der Gesamtdurchschnitt lag bei 0,468 mm. Die Einzelmessungen lagen zwischen 0,34 mm (Vers. 4, El. 3) und 0,66 mm (Vers. 5, El. 7).

Die entsprechenden Werte fuer W & H sind fuer die duennste Stelle am Messort 3 0,432 mm und fuer die durchschnittlich dickste Stelle 0,593 mm am Messort 1 bei einem Gesamtdurchschnitt von 0,515 mm. Die Extremwerte waren hier 0,33 mm (Vers. 25, El. 4) und 0,78 mm (Vers. 12, El. 1). Auf das Auftreten von Brandmarken im Elfenbein bei 9 von 25 Pruefkoeppern (36 %) bei W & H sei besonders hingewiesen.

Bei der Betrachtung der araphischen Darstellung fiel auf, dass beim Fabrikat W & H offenbar nicht nur ein exzentrisches Einspannen der Pruefkoepper fuer die Schwankungen der Schichtdicke zwischen Schleifort und Thermoelement verantwortlich war. Bei einem asymmetrischen Einspannen der Pruefkoepper haette das stehengebliebene Material auf dem Elfenbeinkoepper wie bei der ersten Versuchsreihe und wie bei den anderen Fabrikaten ein sichelfoermiges Aussehen gehabt. Hier allerdings fiel schon mit dem blossen Auge ein mehr ellipsenartiges Aussehen auf. Es hatte den Anschein, als sei die Diamantenbahn besonders an den Stellen mit den Brandmarken in Richtung auf die Thermoelemente hin deformiert. Es wird vermutet, dass hier der Diamant, wegen ungenuegender bis fehlender Spratzzufuhr und damit mangelnder Selbstreinigung von den Elfenbeinspänen, kurzzeitig betroffen hat und dabei das Winkelstueck durch die Rotation des Diamanten im Rahmen seiner Eisenelastizitaet und im Rahmen vorhandenen Lagerspiels von einer genau kreisfoermigen Bahn in eine elliptische Bahn gezwungen wurde. Der genaue Mechanismus ist allerdings nicht bekannt.

PRUEFKOERPERVERMESSUNG

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

VER-
SUCH
NR.(ANGABEN IN MILLIMETERN)
(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)

	MESSUNG BEI				ELEMENT			M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0.35	0.39	0.44	0.40	0.39	0.38	0.45	0.400	0.035
2	0.58	0.57	0.53	0.53	0.58	0.56	0.55	0.557	0.021
3	0.53	0.52	0.51	0.53	0.58	0.62	0.60	0.556	0.044
4	0.59	0.56	0.49	0.52	0.58	0.60	0.52	0.551	0.042
5	0.53	0.52	0.45	0.46	0.52	0.50	0.51	0.499	0.031
6	0.49	0.48	0.43	0.46	0.49	0.50	0.49	0.477	0.024
7	0.53	0.52	0.42	0.50	0.60	0.60	0.52	0.527	0.062
8	0.52	0.50	0.45	0.47	0.50	0.54	0.51	0.499	0.030
9	0.54	0.57	0.45	0.52	0.65	0.60	0.55	0.554	0.063
10	0.52	0.53	0.48	0.46	0.49	0.49	0.51	0.497	0.024
11	0.50	0.50	0.46	0.46	0.48	0.50	0.51	0.487	0.021
12	0.54	0.58	0.46	0.46	0.60	0.60	0.56	0.543	0.060
13	0.56	0.57	0.48	0.42	0.45	0.51	0.57	0.509	0.061
14	0.56	0.56	0.41	0.46	0.57	0.56	0.55	0.524	0.063
15	0.60	0.55	0.40	0.50	0.40	0.49	0.55	0.499	0.076
16	0.56	0.56	0.49	0.45	0.47	0.49	0.49	0.501	0.043
17	0.52	0.52	0.48	0.47	0.46	0.43	0.44	0.474	0.036
18	0.51	0.52	0.46	0.45	0.49	0.51	0.51	0.493	0.028
19	0.48	0.50	0.46	0.45	0.49	0.51	0.50	0.484	0.022
20	0.49	0.50	0.46	0.47	0.49	0.50	0.49	0.486	0.015
21	0.49	0.50	0.47	0.46	0.48	0.49	0.49	0.483	0.014
22	0.47	0.48	0.45	0.44	0.47	0.50	0.50	0.473	0.023
23	0.44	0.46	0.44	0.45	0.50	0.52	0.50	0.473	0.033
24	0.43	0.43	0.45	0.50	0.58	0.66	0.55	0.514	0.087
25	0.45	0.44	0.44	0.46	0.51	0.54	0.52	0.480	0.042

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	0.511	0.513	0.458	0.470	0.513	0.528	0.518
S	0.056	0.048	0.029	0.033	0.064	0.062	0.036

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	0.502
S	0.054

TABELLE 26

PRUEFKOEPPERVERMESSUNG

I C R O - M E G A. VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN MILLIMETERN)
(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)

VER- SUCH NR.	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0.45	0.46	0.49	0.50	0.47	0.47	0.48	0.474	0.017
2	0.59	0.51	0.44	0.42	0.42	0.47	0.50	0.479	0.061
3	0.60	0.50	0.38	0.40	0.41	0.50	0.60	0.484	0.091
4	0.56	0.46	0.34	0.35	0.38	0.46	0.59	0.449	0.099
5	0.64	0.46	0.37	0.36	0.40	0.52	0.66	0.487	0.124
6	0.47	0.46	0.46	0.43	0.45	0.47	0.46	0.457	0.014
7	0.50	0.47	0.44	0.42	0.42	0.44	0.44	0.447	0.029
8	0.49	0.49	0.48	0.47	0.44	0.45	0.43	0.464	0.024
9	0.51	0.46	0.44	0.40	0.41	0.43	0.44	0.441	0.036
10	0.49	0.46	0.46	0.44	0.41	0.42	0.42	0.443	0.029
11	0.52	0.51	0.43	0.42	0.42	0.47	0.49	0.466	0.043
12	0.50	0.48	0.47	0.45	0.42	0.43	0.44	0.456	0.029
13	0.46	0.48	0.49	0.48	0.45	0.44	0.45	0.464	0.019
14	0.51	0.49	0.43	0.40	0.42	0.45	0.47	0.453	0.039
15	0.50	0.46	0.44	0.40	0.42	0.45	0.49	0.451	0.036
16	0.51	0.48	0.45	0.44	0.42	0.43	0.48	0.459	0.032
17	0.50	0.49	0.47	0.46	0.43	0.44	0.45	0.463	0.026
18	0.51	0.50	0.45	0.42	0.41	0.44	0.46	0.456	0.038
19	0.54	0.50	0.47	0.44	0.43	0.45	0.47	0.471	0.038
20	0.53	0.49	0.49	0.40	0.42	0.44	0.47	0.463	0.045
21	0.56	0.51	0.47	0.40	0.39	0.43	0.49	0.464	0.062
22	0.54	0.52	0.44	0.43	0.40	0.46	0.49	0.469	0.050
23	0.50	0.48	0.45	0.42	0.39	0.40	0.46	0.443	0.041
24	0.54	0.52	0.44	0.42	0.38	0.43	0.47	0.457	0.057
25	0.52	0.44	0.39	0.38	0.38	0.46	0.45	0.431	0.052

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	0.522	0.483	0.443	0.422	0.416	0.450	0.482
S	0.043	0.022	0.038	0.035	0.023	0.025	0.056

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	0.460
S	0.050

TABELLE 27

PRUEFKOERPERVERMESSUNG

W & H , VERSUCHSREIHE 2

VER- (ANGABEN IN MILLIMETERN)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0.71	0.70	0.66	0.72	0.55	0.46	0.51	0.616	0.107
2	0.62	0.60	0.54	0.56	0.48	0.45	0.47	0.531	0.066
3	0.59	0.56	0.51	0.55	0.56	0.52	0.45	0.534	0.046
4	0.68	0.59	0.47	0.55	0.73	0.80	0.43	0.607	0.136
5	0.65	0.54	0.40	0.50	0.63	0.64	0.41	0.539	0.107
6	0.71	0.65	0.48	0.60	0.65	0.64	0.47	0.600	0.091
7	0.67	0.54	0.42	0.52	0.70	0.71	0.55	0.587	0.109
8	0.69	0.65	0.34	0.55	0.68	0.71	0.42	0.577	0.146
9	0.69	0.63	0.49	0.56	0.69	0.68	0.40	0.591	0.113
10	0.73	0.61	0.32	0.53	0.71	0.72	0.52	0.591	0.149
11	0.72	0.71	0.30	0.48	0.65	0.73	0.58	0.596	0.158
12	0.78	0.70	0.35	0.54	0.68	0.72	0.43	0.600	0.162
13	0.48	0.45	0.43	0.49	0.49	0.43	0.41	0.454	0.033
14	0.55	0.54	0.41	0.52	0.48	0.45	0.47	0.489	0.051
15	0.54	0.52	0.40	0.48	0.45	0.42	0.43	0.463	0.053
16	0.51	0.50	0.43	0.45	0.43	0.43	0.44	0.456	0.035
17	0.52	0.52	0.44	0.51	0.47	0.39	0.41	0.466	0.054
18	0.50	0.47	0.47	0.52	0.44	0.44	0.44	0.469	0.032
19	0.49	0.47	0.45	0.47	0.43	0.42	0.47	0.457	0.025
20	0.50	0.46	0.43	0.47	0.44	0.44	0.45	0.456	0.024
21	0.47	0.45	0.42	0.46	0.46	0.42	0.42	0.443	0.022
22	0.47	0.44	0.43	0.44	0.42	0.42	0.44	0.437	0.017
23	0.56	0.49	0.41	0.43	0.44	0.45	0.52	0.471	0.054
24	0.50	0.44	0.38	0.40	0.42	0.43	0.50	0.439	0.046
25	0.50	0.39	0.41	0.33	0.37	0.43	0.50	0.419	0.064

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	0.593	0.545	0.432	0.505	0.538	0.534	0.462
S	0.100	0.091	0.074	0.074	0.117	0.136	0.047

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE :

M	0.515
S	0.106

TABELLE 28

2.3.4.

ERGEBNISSE DER VERSUCHE (Versuchsreihe 2)

Die Zusammenstellung der Tabellen erfolgte in der gleichen Art und Weise wie bei der ersten Versuchsreihe:

Gemessene Werte

- 1.) ELEMENTE 1 - 7 : Temperatur an den Thermoelementen 1 bis 7 in Grad Celsius.
- 2.) ELEMENT 8 : Temperatur am Thermoelement 8, welches am Schaft des Winkelstuecks (an der Oberseite, ca. 15 mm hinter dem Centrum des Bohrkopfes) montiert war; in Grad Celsius.
- 3.) SPRAY : Anfangsliche Sprautemperatur, gemessen am Element 1 nach der Vorlaufzeit, aber vor Versuchsbeginn; in Grad Celsius.
- 4.) VERSUCHSDAUER : Aus der Laenze der Registrierschriebe ermittelt; in Minuten und 1/10-Minuten

Daraus wurden folgende Werte errechnet:

- 5.) DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - Spray: Temperaturerhoehung gegenueber der anfaenglichen Sprautemperatur an den Elementen 1 bis 7.
- 6.) DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7: Temperaturen an den Elementen 1-7 im Verlauf des Versuchs unter Beruecksichtigung eventueller Sprautemperaturveraenderungen durch Erwaermung der Laenge im Winkelstueck (Naeheres siehe Text)
- 7.) DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY: Erwaermung des Winkelstuecks gegenueber der Anfangssprautemperatur
- 8.) MITTELWERT und STANDARDABWEICHUNG (1 σ und 1 σ): Rechts vom Datenblock innerhalb des betreffenden Versuchs.
Unter dem Datenblock jeweils einer der Messorte 1-7 innerhalb der 25 betrachteten Versuche.
Ganz unten : Mittelwert und Standardabweichung aller 175 Werte.

Zur weiteren Erklaerung wird auf die Ausfuehrungen zur ersten Versuchsreihe verwiesen (2.2.4.).

In den Tabellen fuer das W & H - Winkelstueck (Tab. 43 - 47) sind diejenigen Messwerte, die mit dem Auftreten von makroskopisch sichtbaren Brandmarken an den Pruefkoerpern verbunden sind, unterstrichen.

MESSDATEN ELEMENTE 1-7

K A V O . VERSUCHSREIHE 2

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	35.3	35.6	34.8	37.0	37.1	36.4	37.5	36.24	1.02
2	28.4	28.6	29.5	29.4	30.0	32.0	32.3	30.03	1.55
3	29.9	28.4	28.8	30.6	29.8	33.1	34.1	30.67	2.15
4	29.6	26.7	26.9	30.8	30.9	31.5	33.5	29.99	2.47
5	30.2	29.7	30.7	31.6	32.0	34.0	36.4	32.09	2.37
6	30.4	29.0	32.4	31.5	32.2	33.4	33.3	31.74	1.59
7	31.0	29.4	29.0	29.9	33.7	31.8	34.4	31.31	2.10
8	30.6	29.1	31.0	31.3	32.2	33.2	34.0	31.63	1.65
9	30.3	26.1	29.6	31.5	34.4	32.1	32.9	30.99	2.68
10	30.4	27.4	29.4	30.2	30.4	31.6	32.3	30.24	1.58
11	30.5	28.3	29.0	29.5	32.4	33.0	32.6	30.76	1.91
12	31.6	31.7	32.5	33.5	34.7	36.7	34.5	33.60	1.85
13	32.1	42.4	36.7	37.4	33.7	36.9	35.2	36.34	3.28
14	32.7	34.3	34.4	35.5	36.3	36.3	36.7	35.17	1.44
15	32.1	36.6	37.3	37.4	35.5	37.5	34.7	35.87	1.97
16	35.3	35.2	33.4	32.3	32.0	33.9	34.9	33.86	1.36
17	33.2	32.9	32.7	37.0	31.5	33.2	37.5	34.00	2.30
18	29.6	30.1	30.8	30.9	33.7	34.6	37.5	32.46	2.90
19	31.8	30.5	31.4	32.2	32.8	36.9	36.6	33.17	2.55
20	32.1	30.3	33.4	32.4	34.6	36.0	38.9	33.96	2.85
21	32.7	32.7	32.5	34.8	34.5	37.2	37.0	34.49	2.00
22	31.9	33.0	31.7	30.9	32.6	35.5	36.6	33.17	2.10
23	32.8	32.2	31.3	31.5	35.6	36.2	40.8	34.34	3.44
24	32.0	32.7	30.0	30.7	33.1	41.2	40.1	34.26	4.51
25	35.0	31.9	31.0	31.6	33.9	37.2	37.5	34.01	2.67

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	31.66	31.39	31.61	32.46	33.18	34.86	35.67
S	1.79	3.61	2.48	2.55	1.92	2.42	2.37

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	32.98
S	02.92

TABELLE 29

MESSDATEN ELEMENT 8

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

ANGABEN IN GRAD CELSIUS
(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)

VER- SUCH NR.	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	26.5	26.8	26.8	26.9	26.8	26.8	26.8	26.77	0.13
2	26.5	26.5	26.4	26.5	26.5	26.6	26.7	26.53	0.10
3	27.8	27.7	27.7	27.8	27.8	27.8	27.5	27.79	0.07
4	26.9	27.0	27.1	27.2	27.1	27.1	27.3	27.10	0.13
5	28.7	28.7	28.8	28.7	28.4	28.5	28.6	28.51	0.29
6	29.7	29.6	29.6	29.6	29.7	29.7	29.7	29.66	0.05
7	29.9	29.9	30.0	30.0	30.0	30.0	29.9	29.96	0.05
8	30.2	30.1	30.0	30.2	29.8	29.9	30.0	30.03	0.15
9	28.2	28.2	28.1	28.0	28.2	28.2	28.3	28.17	0.10
10	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.1	29.2	29.19	0.04
11	29.0	28.9	28.9	29.0	29.0	29.1	29.0	28.99	0.07
12	30.8	30.8	30.9	30.8	31.1	31.3	31.3	31.00	0.23
13	34.0	34.5	34.5	34.3	34.2	33.9	33.8	34.17	0.28
14	34.5	34.9	35.1	35.1	34.9	34.5	34.7	34.81	0.25
15	37.3	37.5	37.2	35.7	34.8	34.2	34.2	35.84	1.48
16	34.0	34.4	34.3	34.5	34.3	34.4	34.4	34.33	0.16
17	32.6	32.7	32.6	32.6	32.7	32.5	32.4	32.59	0.11
18	31.6	31.6	31.6	31.7	31.9	32.1	32.1	31.80	0.23
19	31.2	31.5	31.6	31.6	31.3	31.8	32.6	31.66	0.46
20	31.7	32.1	32.5	33.3	34.3	34.5	34.7	33.30	1.23
21	32.6	32.5	32.7	33.0	33.2	34.6	33.8	33.20	0.76
22	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.4	30.66	0.11
23	30.7	30.1	30.0	31.0	31.1	30.9	31.2	30.71	0.48
24	30.4	30.4	30.5	30.9	32.0	32.4	33.3	31.41	1.16
25	30.4	30.3	30.2	29.3	30.2	31.3	32.3	30.57	0.96

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
1	31.00		31.08		31.17		31.36
		31.06		31.10		31.27	
3	2.73		2.85		2.71		2.72
		2.85		2.76		2.72	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE :

1	31.15
3	02.72

TABELLE 30

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

VER- SUCH NR.	(ANGABEN IN GRAD CELSIUS) (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)								
	MESSUNG 1	2	3	4	ELEMENT 5	6	7	M	/ S
1	5.0	5.3	4.5	6.7	6.8	6.1	7.2	05.94	1.02
2	6.2	6.4	7.3	7.2	7.8	9.8	10.1	07.83	1.55
3	4.7	3.2	3.5	5.4	4.5	7.8	8.9	05.47	2.15
4	5.3	2.4	2.6	6.5	6.6	7.2	9.2	05.69	2.47
5	3.8	3.3	4.3	5.2	5.6	7.6	10.0	05.69	2.37
6	4.6	3.2	6.6	5.7	6.4	7.6	7.5	05.94	1.59
7	5.4	3.8	3.4	4.3	8.1	6.2	8.8	05.71	2.10
8	4.7	3.2	5.1	5.4	6.3	7.3	8.1	05.73	1.65
9	5.3	1.1	4.6	6.5	9.4	7.1	7.9	05.99	2.68
10	4.7	1.7	3.7	4.5	4.7	5.9	6.6	04.54	1.58
11	5.3	3.1	3.8	4.3	7.2	7.8	7.3	05.56	1.91
12	6.8	6.9	7.7	8.7	9.9	11.9	9.7	08.80	1.85
13	6.3	16.7	11.0	11.7	8.0	11.2	9.5	10.64	3.28
14	6.7	8.3	8.4	9.5	10.3	10.3	10.7	09.17	1.44
15	5.3	9.9	10.6	10.7	8.8	10.8	8.0	09.17	1.97
16	9.8	9.7	7.9	6.8	6.5	8.4	9.4	08.36	1.36
17	6.8	6.5	6.3	10.6	5.1	6.8	11.1	07.60	2.30
18	4.1	4.6	5.3	5.4	8.2	9.1	12.0	06.96	2.90
19	6.2	4.9	5.8	6.6	7.2	11.3	11.0	07.57	2.55
20	6.3	4.5	7.6	6.6	8.8	10.2	13.1	08.16	2.85
21	6.4	6.4	6.2	8.5	8.2	10.9	10.7	08.19	2.00
22	4.4	5.5	4.2	3.4	5.0	8.0	9.1	05.67	2.10
23	4.9	4.3	3.4	3.6	7.7	8.3	12.9	06.44	3.44
24	4.9	5.6	2.9	3.6	5.9	14.1	13.0	07.16	4.51
25	6.5	3.4	2.5	3.1	5.4	8.7	9.0	05.51	2.67

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M	05.62		05.57		07.15		09.64
		05.36		06.42		08.82	
S	1.24		2.35		1.61		1.84
		3.26		2.39		2.07	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	
S	06.94
	02.67

TABELLE 31

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	01.2	01.2	02.0	00.0-	00.2-	00.3	00.7-	00.53	0.97
2	01.9-	02.1-	03.1-	02.9-	03.5-	05.4-	05.6-	03.50-	1.48
3	02.1-	00.6-	01.0-	02.8-	02.0-	05.3-	06.2-	02.39-	2.09
4	02.7-	00.2	00.2	03.5-	03.8-	04.4-	06.2-	02.89-	2.39
5	01.5-	01.0-	01.9-	02.9-	03.6-	05.7-	08.4-	03.57-	2.65
6	00.6-	00.6	02.8-	01.9-	02.5-	03.7-	03.5-	02.09-	1.57
7	01.1-	00.5	01.0	00.1	03.7-	01.8-	04.5-	01.36-	2.11
8	00.3-	01.0	01.0-	01.0-	02.4-	03.3-	04.0-	01.60-	1.74
9	02.0-	02.1	01.5-	03.5-	06.2-	03.8-	04.6-	02.81-	2.67
10	01.2-	01.8	00.1-	01.0-	01.2-	02.5-	03.1-	01.06-	1.59
11	01.5-	00.6	00.1-	00.5-	03.4-	03.9-	03.5-	01.77-	1.85
12	00.8-	00.9-	01.6-	02.7-	03.6-	05.4-	03.2-	02.60-	1.65
13	01.9	07.9-	02.2-	03.1-	00.5	03.0-	01.4-	02.17-	3.13
14	01.8	00.6	00.6	00.4-	01.3-	01.8-	02.0-	00.36-	1.45
15	05.2	00.9	00.0-	01.7-	00.7-	03.3-	00.5-	00.03-	2.66
16	01.3-	00.7-	00.8	02.2	02.3	00.5	00.5-	00.47	1.43
17	00.6-	00.2-	00.1-	04.4-	01.2	00.7-	05.0-	01.41-	2.37
18	02.0	01.5	00.8	00.8	01.8-	02.5-	05.4-	00.66-	2.68
19	00.5-	01.0	00.2	00.6-	01.5-	05.1-	04.0-	01.51-	2.23
20	00.3-	01.8	00.3-	00.8	00.2-	01.5-	04.2-	00.66-	1.91
21	00.1-	00.2-	00.2	01.8-	01.3-	02.6-	03.2-	01.29-	1.32
22	01.2-	02.3-	01.0-	00.1-	01.8-	04.8-	06.2-	02.51-	2.18
23	02.0-	02.1-	01.3-	00.5-	04.4-	05.3-	09.6-	03.63-	3.14
24	01.6-	02.3-	00.5	00.1	01.8-	08.8-	06.8-	02.84-	3.57
25	04.6-	01.6-	00.7-	02.3-	03.7-	05.9-	05.2-	03.44-	1.92

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	00.66-		00.53-		02.02-		04.31-
		00.33-		01.35-		03.59-	
S	1.92		1.25		1.91		2.30
		2.08		1.65		2.14	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	01.83-
S	02.39

NEGATIVE WERTE SIND DURCH EIN NACHGESTELLTES MINUSZEICHEN GEKENNZEICHNET
TABELLE 32

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

VER- SUCH NR.	(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)								
	(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)								
	MESSUNG	BEI	ELEMENT					M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	6.2	6.5	6.5	6.6	6.5	6.5	6.5	06.47	0.13
2	4.3	4.3	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	04.33	0.10
3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.7	02.59	0.07
4	2.6	2.7	2.8	2.9	2.8	2.8	3.0	02.80	0.13
5	2.3	2.3	2.4	2.3	2.0	1.9	1.6	02.11	0.29
6	3.9	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	03.86	0.05
7	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	04.36	0.05
8	4.3	4.2	4.1	4.3	3.9	4.0	4.1	04.13	0.15
9	3.2	3.2	3.1	3.0	3.2	3.2	3.3	03.17	0.10
10	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.5	03.49	0.04
11	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.8	03.79	0.07
12	6.0	6.0	6.1	6.0	6.3	6.5	6.5	06.20	0.23
13	8.3	8.8	8.8	8.6	8.5	8.2	8.1	08.47	0.28
14	8.5	8.9	9.1	9.1	8.9	8.5	8.7	08.81	0.25
15	10.6	10.8	10.5	9.0	8.1	7.5	7.5	09.14	1.48
16	8.5	8.9	8.8	9.0	8.8	8.9	8.9	08.83	0.16
17	6.2	6.3	6.2	6.2	6.3	6.1	6.0	06.19	0.11
18	6.1	6.1	6.1	6.2	6.4	6.6	6.6	06.30	0.23
19	5.6	5.9	6.0	6.0	5.7	6.2	7.0	06.06	0.46
20	5.9	6.3	6.7	7.5	8.5	8.7	8.9	07.50	1.23
21	6.3	6.2	6.4	6.7	6.9	8.3	7.5	06.90	0.76
22	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.9	03.16	0.11
23	2.8	2.2	2.1	3.1	3.2	3.0	3.3	02.81	0.48
24	3.3	3.3	3.4	3.8	4.9	5.3	6.2	04.31	1.16
25	1.9	1.8	1.7	.7	1.7	2.8	3.8	02.07	0.96

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	04.97		05.04		05.13		05.32
		05.03		05.07		05.23	
S	2.27		2.43		2.26		2.20
		2.43		2.35		2.23	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE:

M	05.11
S	02.27

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
SPRAY	:	30.3	22.2	25.2	24.3	26.4
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
SPRAY	:	25.8	25.6	25.9	25.0	25.7
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
SPRAY	:	25.2	24.8	25.7	26.0	26.7
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
SPRAY	:	25.5	26.4	25.5	25.6	25.8
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
SPRAY	:	26.3	27.5	27.9	27.1	28.5
MITTELWERT	:	26.04				
STANDARDABW.	:	1.31				

TABELLE 34

VERSUCHSDAUER

K A V O , VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN MINUTEN UND 1/10 MINUTEN)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
DAUER	:	1.5	1.7	1.9	2.4	2.8
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
DAUER	:	2.6	2.5	2.5	2.3	2.7
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
DAUER	:	2.6	2.5	2.7	2.8	2.7
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
DAUER	:	2.9	3.2	2.9	3.5	2.8
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
DAUER	:	2.8	3.0	2.7	2.9	2.6
MITTELWERT	:	2.63				
STANDARDABW.	:	0.43				

TABELLE 35

MESSDATEN ELEMENTE 1-7

MICRO-MEGA. VERSUCHSREIHE 2

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	32.8	32.9	34.1	37.1	34.0	33.2	35.0	34.28	1.51
2	32.6	34.0	35.4	37.0	35.5	34.3	34.7	34.79	1.36
3	33.5	38.0	45.0	41.6	38.7	37.6	39.0	39.06	3.56
4	33.7	35.7	38.4	41.4	36.1	34.3	35.9	36.50	2.63
5	35.7	38.1	40.6	42.2	39.5	37.5	39.5	39.01	2.13
6	30.5	31.8	32.7	34.6	33.2	32.8	34.1	32.81	1.38
7	30.7	32.4	32.3	35.0	32.9	32.2	33.5	32.71	1.32
8	31.2	33.6	33.2	35.3	33.8	33.0	34.4	33.50	1.28
9	31.2	32.4	32.5	34.5	33.1	32.1	33.3	32.73	1.04
10	30.2	32.2	31.9	33.9	33.2	32.2	33.8	32.49	1.29
11	31.1	33.6	33.0	35.5	33.4	32.5	34.1	33.31	1.36
12	31.1	32.9	32.6	35.0	33.1	32.6	33.8	33.01	1.20
13	31.2	32.4	33.3	36.0	33.3	32.6	33.5	33.19	1.47
14	31.2	32.9	33.5	35.6	33.5	32.5	34.0	33.31	1.36
15	31.2	32.6	33.1	34.8	33.2	32.1	33.0	32.86	1.11
16	31.3	32.7	33.1	35.4	33.9	32.5	32.8	33.10	1.28
17	30.5	33.7	34.5	36.8	34.1	33.2	34.0	33.83	1.67
18	32.3	33.6	34.4	36.0	33.8	32.6	34.0	33.81	1.22
19	31.5	34.0	34.9	37.4	34.8	34.5	35.5	34.66	1.77
20	32.2	33.7	34.3	36.5	34.5	33.3	34.5	34.14	1.52
21	31.8	33.1	33.5	36.2	33.6	32.5	34.7	33.63	1.45
22	28.4	31.9	32.4	33.4	31.0	30.0	30.7	31.11	1.55
23	28.0	29.9	30.4	30.0	30.7	30.5	32.5	30.29	1.33
24	30.6	32.2	33.0	35.0	34.4	32.9	34.2	33.19	1.50
25	30.4	31.4	32.1	35.8	33.1	31.1	32.5	32.34	1.77

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	31.40		34.17		34.03		34.28
		33.27		36.08		32.98	
S	1.57		3.06		1.90		1.63
		1.80		2.59		1.71	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE.

M	33.74
S	32.48

TABELLE 36

MESSDATEN ELEMENT 8

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 2

ER- UCH NR.	(ANGABEN IN GRAD CELSIUS (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)								
	MESSUNG BEI ELEMENT							M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	33.0	32.6	33.0	33.2	32.9	33.0	33.2	32.99	0.30
2	33.4	33.0	33.6	34.3	34.0	33.8	33.9	33.71	0.43
3	35.1	39.5	39.5	38.6	39.6	40.0	39.9	38.89	1.73
4	38.0	37.8	37.5	37.1	35.7	35.7	35.8	36.80	1.54
5	39.8	40.5	40.1	40.0	40.0	40.0	40.1	40.07	0.21
6	31.2	31.3	31.2	31.5	31.7	31.7	31.9	31.50	0.28
7	31.2	30.7	30.8	30.8	30.6	30.5	31.1	30.81	0.25
8	30.7	31.8	31.8	31.3	31.4	31.2	31.7	31.41	0.40
9	31.6	31.6	31.3	31.0	30.8	30.5	30.4	31.03	0.49
0	30.5	30.0	29.1	30.0	30.5	30.6	30.7	30.20	0.56
1	30.0	30.6	30.1	30.1	31.0	31.0	31.1	30.56	0.49
2	30.8	30.8	30.9	31.2	31.4	31.8	31.6	31.21	0.40
3	31.5	31.4	31.3	31.3	31.7	31.5	30.4	31.30	0.42
4	31.4	31.3	31.3	31.5	31.2	31.3	31.2	31.31	0.11
5	31.4	31.3	31.4	31.4	31.2	31.0	30.8	31.21	0.23
6	31.4	31.2	31.0	31.2	30.6	29.9	30.0	30.76	0.61
7	31.1	35.4	34.3	34.0	33.9	33.9	33.6	33.74	1.30
8	33.0	32.8	31.4	30.8	31.0	31.6	32.3	31.84	0.87
9	31.5	33.3	34.0	34.3	34.0	34.0	34.0	33.59	0.97
0	32.8	32.5	32.5	32.8	33.0	32.8	32.6	32.71	0.19
1	32.5	32.0	32.2	32.7	32.3	32.1	32.3	32.30	0.24
2	28.2	28.9	28.7	28.7	28.7	28.5	28.4	28.59	0.23
3	27.5	27.5	27.4	27.4	27.8	30.5	30.6	29.39	1.48
4	30.8	30.5	30.4	30.6	31.5	32.0	32.0	31.11	0.70
5	30.9	30.1	30.0	30.3	29.2	29.0	29.4	29.84	0.68

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
1	31.97		32.19		32.23		32.36
		32.34		32.24		32.32	
2	2.60		3.04		2.86		2.80
		3.04		2.89		2.81	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

32.24
02.82

TABELLE 37

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

MICRO-MEGA. VERSUCHSREIHE 2

VER- SUCH NR.	(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)								
	(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)								
	MESSUNG	BEI	ELEMENT					M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	3.2	3.3	4.4	7.5	4.7	3.6	5.4	04.60	1.51
2	2.9	4.4	5.8	7.4	5.9	4.7	5.1	05.19	1.38
3	3.9	8.4	15.4	12.0	9.1	8.0	9.4	09.46	3.56
4	2.6	4.6	7.3	10.3	4.9	3.2	4.8	05.40	2.63
5	2.3	4.6	7.1	8.8	6.1	4.0	6.1	05.61	2.13
6	2.0	3.3	4.2	6.1	4.7	4.3	5.6	04.31	1.38
7	2.3	4.0	3.9	6.6	4.5	3.8	5.1	04.31	1.32
8	3.0	5.3	5.0	7.1	5.6	4.8	6.2	05.30	1.28
9	3.2	4.4	4.5	6.5	5.0	4.0	5.3	04.73	1.04
10	3.2	5.2	4.9	6.9	6.2	5.2	6.8	05.49	1.29
11	3.1	5.6	5.0	7.5	5.4	4.5	6.1	05.31	1.36
12	2.6	4.4	4.0	6.5	4.5	4.0	5.3	04.51	1.20
13	2.5	3.7	4.5	7.3	4.5	3.8	4.8	04.49	1.47
14	2.7	4.4	5.0	7.1	5.0	4.0	5.5	04.81	1.36
15	2.8	4.2	4.7	6.4	4.8	3.7	4.6	04.46	1.11
16	2.8	4.2	4.5	6.9	5.4	4.0	4.3	04.60	1.28
17	2.5	5.7	6.5	8.8	6.1	5.2	6.0	05.83	1.87
18	2.8	4.0	4.9	6.5	4.3	3.1	4.5	04.31	1.22
19	3.6	6.1	7.0	9.5	6.9	6.6	7.6	06.76	1.77
20	2.7	4.2	4.8	7.0	5.0	3.8	5.0	04.64	1.32
21	2.4	3.7	4.1	6.8	4.2	3.1	5.3	04.23	1.45
22	2.8	6.3	6.8	7.8	5.4	4.4	5.1	05.51	1.65
23	2.6	4.5	5.0	4.6	5.3	5.1	7.1	04.89	1.33
24	2.4	4.0	4.8	6.8	6.2	4.7	6.0	04.99	1.50
25	2.1	3.1	3.8	7.5	4.8	2.8	4.2	04.04	1.77

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	02.76		05.54		05.40		05.65
		04.64		07.45		04.35	
S	0.44		2.30		1.03		1.15
		1.15		1.49		1.12	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	05.11
S	01.88

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 2

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
 SUCH M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
 NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	00.2	00.3-	01.0-	03.8-	01.3-	00.2-	01.8-	01.21-	1.36
2	00.8	01.0-	01.8-	02.7-	01.5-	00.5-	00.7-	01.07-	1.10
3	01.5	01.5	05.5-	03.0-	00.8	02.4	00.9	00.17-	1.92
4	04.3	02.0	00.9-	04.3-	00.3-	01.4	00.1-	00.30	1.70
5	04.0	02.4	00.5-	02.2-	00.5	02.5	00.5	01.06	1.11
6	00.7	00.5-	01.5-	03.1-	01.5-	01.0-	02.2-	01.31-	1.21
7	00.5	01.7-	01.5-	04.2-	02.3-	01.7-	02.4-	01.90-	1.40
8	00.5-	01.8-	01.4-	04.0-	02.4-	01.8-	02.7-	02.09-	1.10
9	00.3	00.8-	01.2-	03.5-	02.3-	01.5-	02.9-	01.70-	1.32
10	00.2	02.2-	02.8-	03.9-	02.7-	01.6-	03.1-	02.29-	1.35
11	01.1-	02.9-	02.9-	05.4-	02.4-	01.5-	02.9-	02.76-	1.39
12	00.3-	02.1-	01.7-	03.8-	01.7-	00.7-	02.2-	01.80-	1.12
13	00.2	01.0-	02.0-	04.7-	01.5-	01.0-	03.1-	01.89-	1.62
14	00.1	01.6-	02.2-	04.0-	02.3-	01.2-	02.8-	02.00-	1.34
15	00.1	01.3-	01.7-	03.4-	02.0-	01.0-	02.2-	01.64-	1.11
16	00.1	01.5-	02.0-	04.2-	03.3-	02.6-	02.8-	02.34-	1.38
17	00.6	01.7	00.2-	02.8-	00.1-	00.7	00.4-	00.09-	1.40
18	00.7	00.7-	03.0-	05.2-	02.8-	00.9-	01.7-	01.97-	1.50
19	00.0	00.7-	00.9-	03.1-	00.7-	00.5-	01.5-	01.07-	1.20
20	00.5	01.2-	01.8-	03.7-	01.5-	00.5-	01.9-	01.43-	1.33
21	00.7	01.0-	01.3-	06.5-	01.3-	00.4-	02.4-	01.33-	1.35
22	00.1-	03.0-	03.7-	04.7-	02.3-	01.5-	02.3-	02.53-	1.47
23	00.5-	02.4-	03.0-	02.6-	02.5-	00.3	01.3-	01.50-	1.19
24	00.1	01.7-	02.6-	04.4-	02.9-	00.9-	02.2-	02.07-	1.43
25	00.5	01.3-	02.0-	05.5-	03.8-	02.1-	03.1-	02.50-	1.62

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	00.58		01.98-		01.80-		01.82-
		00.93-		03.34-		00.87-	
S	1.21		1.12		1.15		1.13
		1.45		0.87		1.27	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	01.51-
S	01.72

NEGATIVE WERTE SIND DURCH EIN NACHGESTELLTES MINUSZEICHEN BEZEICHNET
 TABELLE 39

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 2

VER- SUCH NR.	ANGABEN IN GRAD CELSIUS								
	(M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)								
	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	3.4	2.9	3.4	3.6	3.3	3.4	3.6	33.39	0.20
2	3.8	3.4	3.9	4.7	4.4	4.2	4.3	34.11	0.43
3	5.4	2.9	3.9	9.0	10.0	10.4	10.3	39.29	1.73
4	6.9	6.7	6.4	6.9	4.6	4.6	4.7	35.70	1.34
5	6.3	7.1	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	36.57	0.21
6	2.7	2.8	2.7	3.0	3.2	3.2	3.4	33.00	0.26
7	2.8	2.3	2.4	2.4	2.2	2.1	2.7	32.41	0.25
8	2.5	3.5	3.5	3.1	3.2	3.0	3.5	33.21	0.40
9	3.6	3.6	3.3	3.0	2.8	2.5	2.4	33.03	0.49
10	3.5	3.0	2.1	3.8	3.5	3.6	3.7	33.20	0.56
11	2.0	2.6	2.1	2.1	3.0	3.0	3.1	32.56	0.49
12	2.3	2.3	2.4	2.7	2.9	3.3	3.1	32.71	0.40
13	2.8	2.7	2.5	2.5	3.0	2.8	1.7	32.60	0.42
14	2.9	2.8	2.8	3.0	2.7	2.8	2.7	32.31	0.11
15	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	2.6	2.4	32.31	0.23
16	2.9	2.7	2.5	2.7	2.1	1.4	1.5	32.26	0.61
17	3.1	7.4	6.3	6.0	5.9	5.9	5.6	35.74	1.30
18	3.5	3.3	1.9	1.3	1.5	2.1	2.8	32.34	0.37
19	3.6	5.4	6.1	6.4	6.1	6.1	6.1	35.69	0.97
20	3.3	3.0	3.0	3.3	3.5	3.3	3.1	33.21	0.19
21	3.1	2.6	2.8	3.3	2.9	2.7	2.9	32.90	0.24
22	2.6	3.3	3.1	3.1	3.1	2.9	2.8	32.99	0.23
23	2.1	2.1	2.0	2.0	2.4	5.1	5.2	32.99	1.43
24	2.5	2.3	2.2	2.4	3.3	3.8	3.8	33.91	0.70
25	2.6	1.8	1.7	2.0	.9	.7	1.1	31.54	0.63

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	33.34		33.56		33.60		33.73
		33.70		33.61		33.68	
S	1.22		1.99		1.88		1.94
		2.00		1.82		1.98	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	33.60
S	31.82

TABELLE 40

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
SPRAY	:	29,6	29,3	29,6	31,1	31,4
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
SPRAY	:	31,3	29,4	28,1	31,0	27,3
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
SPRAY	:	29,9	28,7	29,7	28,5	28,4
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
SPRAY	:	28,7	29,0	29,5	27,3	29,5
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
SPRAY	:	29,4	29,6	29,4	28,2	28,3
MITTELWERT	:	29,63				
STANDARDABW.	:	1,56				

TABELLE 41

VERSUCHSDAUER

MICRO-MEGA, VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN MINUTEN UND 1/10 MINUTEN)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
DAUER	:	3,3	3,9	4,2	3,3	3,9
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
DAUER	:	3,4	3,3	3,2	3,4	3,8
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
DAUER	:	3,0	3,4	3,4	3,6	3,6
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
DAUER	:	3,3	3,4	3,0	3,6	3,5
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
DAUER	:	3,3	3,3	3,3	3,5	3,8
MITTELWERT	:	3,38				
STANDARDABW.	:	0,32				

TABELLE 42

MESSDATEN ELEMENTE 1-7

W & H J. VERSUCHSREIHE 2

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

MESSUNG BEI ELEMENT
1 2 3 4 5 6 7 M / S

1	27.4	32.6	34.6	35.6	32.5	29.7	29.2	31.66	32.99
2	26.8	31.6	31.6	36.8	54.6	29.4	28.3	34.16	39.57
3	28.8	29.3	33.0	38.7	40.9	33.4	32.0	33.73	34.54
4	27.3	28.0	30.0	40.1	44.2	30.0	29.8	32.77	36.60
5	27.5	28.8	30.0	35.0	34.3	30.7	30.3	31.09	32.85
6	27.1	27.2	35.7	39.6	74.0	31.8	30.5	37.99	16.50
7	27.9	28.9	31.8	38.4	42.2	30.5	30.4	32.37	35.34
8	27.5	28.2	32.4	35.9	40.2	30.3	30.5	32.14	34.51
9	28.4	29.6	33.0	47.2	55.8	32.3	31.5	36.83	10.44
10	27.7	28.5	30.0	36.3	33.6	31.2	30.4	31.10	32.98
11	27.8	28.0	32.1	33.7	34.1	31.0	31.1	31.11	32.49
12	28.8	29.4	33.3	43.8	45.7	32.6	32.5	35.16	36.79
13	31.2	33.2	43.6	35.6	38.0	37.9	34.5	36.29	34.84
14	32.0	32.9	45.6	41.6	39.2	39.9	38.3	38.50	34.76
15	31.9	32.4	41.8	40.0	37.2	39.1	36.5	36.39	33.74
16	32.3	33.3	36.8	38.1	36.5	39.6	38.0	36.37	32.65
17	32.8	34.3	40.9	38.8	38.0	38.5	37.0	36.90	32.79
18	31.9	33.4	39.0	39.5	35.6	37.5	35.9	36.11	32.88
19	32.2	33.7	42.3	40.4	36.0	35.2	35.8	36.51	33.60
20	31.5	33.5	38.1	39.1	35.5	35.8	35.5	35.57	32.57
21	32.0	33.8	36.9	37.1	35.7	37.1	37.0	35.66	32.01
22	31.4	33.1	34.0	36.0	34.8	36.9	36.4	34.66	31.97
23	31.2	34.4	45.2	40.5	40.9	36.8	35.6	37.80	34.78
24	31.3	33.9	52.3	41.7	35.6	35.3	34.8	37.84	37.11
25	31.0	32.8	35.9	49.4	55.4	36.1	35.0	39.37	39.24

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

1 2 3 4 5 6 7

M 29.83 31.39 36.80 39.16 41.16 34.34 33.49

S 32.12 32.45 35.78 33.66 39.57 33.49 33.07

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M 35.17
S 36.15

TABELLE 43

MESSDATEN ELEMENT 8

W & H VERSUCHSREIHE 2

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS
UCH- M = MITTELWERT S = STANDARDABWEICHUNG
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M	S
	1	2	3	4	5	6	7		
1	26.6	26.6	26.6	26.9	26.7	26.7	26.7	26.69	00.11
000	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.9	26.8	26.81	00.04
000	26.8	26.9	26.9	26.1	26.8	26.7	26.6	26.61	00.49
000	26.7	26.8	26.9	26.8	26.9	26.5	26.2	26.36	00.22
04	27.1	27.1	27.0	27.0	27.1	27.1	27.1	27.07	00.05
000	27.0	27.0	27.2	27.2	27.0	27.5	27.5	27.20	00.22
000	27.0	27.0	26.9	27.0	27.1	27.4	27.5	27.18	00.18
000	27.4	27.5	27.4	27.3	27.2	27.5	27.3	27.48	00.12
000	27.9	27.9	28.0	28.0	27.9	27.9	27.9	27.93	00.05
000	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.1	27.1	27.03	00.05
1	27.0	27.0	27.0	26.9	27.0	27.1	27.2	27.03	00.10
100	28.2	28.4	28.3	28.4	28.4	29.0	28.9	28.51	00.31
100	29.3	29.4	29.5	29.3	29.3	29.5	29.4	29.39	00.09
14	31.0	31.0	31.1	31.0	31.1	31.1	31.0	31.04	00.05
15	31.2	31.1	30.8	30.8	30.7	30.8	30.8	30.89	00.19
106	31.9	31.8	31.5	31.6	31.6	31.7	31.8	31.70	00.14
107	31.7	31.6	31.8	31.6	31.5	31.6	31.6	31.63	00.10
108	31.0	30.9	30.9	30.8	30.8	31.0	30.9	30.90	00.08
109	30.8	30.7	30.7	30.6	30.5	30.5	30.5	30.61	00.12
200	30.8	31.1	30.9	30.7	30.6	30.7	30.8	30.80	00.16
201	30.5	30.5	30.5	30.2	30.3	30.3	30.4	30.39	00.12
202	30.4	30.5	30.3	30.2	30.3	30.4	30.4	30.36	00.10
203	30.4	30.4	30.4	29.8	29.9	30.0	30.0	30.13	00.26
204	30.4	30.3	30.2	29.6	29.5	29.5	29.5	29.55	00.42
205	29.8	29.8	29.7	29.6	29.7	29.8	29.9	29.76	00.10

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	28.96	28.96	28.97	28.90	28.88	29.00	28.99
S	02.00	01.98	01.93	01.84	01.85	01.90	01.92

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	28.95
S	01.86

TABELLE 44

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

W & H . VERSUCHSREIHE 2

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
 SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
 NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	02.7	07.0	09.9	10.9	07.0	05.0	04.5	06.96	02.99
2	02.8	07.6	07.6	12.0	06.6	05.4	04.3	10.16	09.57
3	02.9	03.4	07.1	12.8	15.0	07.5	06.1	07.83	04.54
4	03.1	03.0	05.8	15.9	20.0	05.8	05.6	08.57	06.60
5	03.0	04.3	05.5	10.5	10.3	06.2	06.3	06.59	02.65
6	02.9	03.0	11.5	15.4	49.8	07.6	06.3	13.79	16.50
7	03.6	04.6	07.5	14.1	17.9	06.2	06.1	08.57	05.34
8	03.1	03.8	08.0	11.5	15.8	05.9	06.1	07.74	04.51
9	03.4	04.6	08.0	22.2	30.8	07.3	06.5	11.83	10.44
10	03.5	04.3	05.8	12.1	09.4	07.0	06.2	06.96	02.98
11	03.7	03.9	08.0	09.6	10.0	06.9	07.0	07.01	02.49
12	03.8	04.4	08.3	18.8	20.7	07.6	07.5	10.16	06.79
13	05.1	07.1	17.5	09.5	11.9	11.8	08.4	10.19	04.04
14	04.9	05.8	18.5	14.5	12.1	12.8	11.2	11.46	04.76
15	04.5	05.0	14.4	12.6	09.8	11.7	09.1	09.59	03.74
16	04.8	05.8	09.3	10.6	09.0	12.1	13.5	08.87	02.65
17	05.0	06.6	13.2	11.1	08.3	10.8	25.3	09.20	02.79
18	04.8	06.3	11.9	12.4	08.5	10.4	08.8	09.01	02.80
19	05.1	06.6	15.2	13.3	08.9	08.1	08.7	09.41	03.60
20	04.5	06.5	11.1	12.1	08.5	08.8	08.5	08.57	02.57
21	04.9	06.7	09.8	10.0	08.6	10.0	09.9	08.56	02.01
22	04.4	06.1	07.0	09.0	07.8	09.9	09.4	07.66	01.97
23	04.8	08.0	18.8	14.1	14.5	10.4	09.2	11.40	04.70
24	04.8	07.4	25.8	15.2	09.1	08.8	08.3	11.54	07.11
25	04.9	06.7	09.8	23.3	29.3	10.0	08.9	13.27	09.24

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	04.04		11.01		15.38		07.71
		05.61		13.37		06.56	
S	00.87		04.98		10.16		01.85
		01.51		03.64		02.30	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	09.38
S	05.96

TABELLE 45

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

W & H , VERSUCHSREIHE 2

VER- ANGABEN IN GRAD CELSIUS
SUCH M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	00.7-	05.9-	08.3-	08.7-	05.8-	03.0-	02.5-	04.97-	02.35
2	01.0-	05.8-	05.3-	11.0-	08.8-	03.5-	02.5-	08.34-	09.57
3	00.7-	01.4-	04.0-	09.6-	11.3-	04.7-	03.4-	05.11-	04.14
4	01.5-	02.2-	04.2-	14.1-	18.3-	03.7-	03.5-	06.81-	06.59
5	00.3-	01.7-	05.8-	08.8-	07.7-	00.6-	03.7-	04.01-	02.86
6	00.1-	00.2-	08.5-	12.4-	47.8-	04.3-	03.0-	10.79-	16.57
7	00.8-	01.9-	04.9-	11.4-	15.1-	03.1-	03.1-	05.77-	05.36
8	00.1-	00.7-	05.0-	08.6-	13.0-	02.8-	03.0-	04.74-	04.62
9	00.5-	01.7-	05.0-	13.2-	17.3-	04.4-	03.6-	08.90-	10.43
10	00.7-	01.5-	03.0-	09.3-	06.6-	04.1-	03.3-	04.07-	02.98
11	00.7-	01.0-	05.0-	06.8-	07.1-	03.9-	03.9-	04.09-	02.51
12	00.5-	01.0-	05.0-	15.4-	17.3-	03.5-	03.6-	06.64-	06.83
13	01.9-	03.0-	14.1-	06.3-	08.7-	08.4-	05.1-	06.90-	03.99
14	01.0-	01.3-	14.5-	10.6-	08.1-	08.8-	07.3-	07.46-	04.73
15	00.6-	01.3-	11.8-	09.2-	06.5-	08.3-	05.7-	06.10-	03.85
16	00.3-	01.5-	05.3-	06.5-	04.3-	07.8-	06.2-	04.67-	02.73
17	01.0-	02.7-	09.1-	07.2-	04.5-	06.9-	05.4-	05.27-	02.76
18	00.8-	02.5-	08.1-	08.7-	04.6-	06.5-	05.0-	05.21-	02.84
19	01.4-	03.0-	11.6-	09.8-	05.5-	04.7-	05.3-	05.90-	03.61
20	00.7-	02.4-	07.2-	08.4-	04.9-	05.0-	04.7-	04.77-	02.63
21	01.5-	03.3-	06.4-	06.8-	05.4-	06.8-	06.6-	05.27-	02.09
22	01.0-	02.5-	03.7-	05.8-	04.5-	06.5-	06.0-	04.30-	02.01
23	00.8-	04.0-	14.8-	10.7-	11.0-	06.8-	05.6-	07.67-	04.78
24	00.8-	03.6-	22.1-	12.1-	06.1-	05.8-	05.3-	07.99-	07.38
25	01.2-	03.0-	06.2-	19.8-	25.7-	06.3-	05.1-	09.61-	09.31

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	00.87-		07.82-		12.28-		04.50-
		02.43-		10.26-		05.34-	
S	00.43		04.61		10.36		31.35
		01.43		03.67		01.86	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	06.22-
S	35.95

NEGATIVE WERTE SIND DURCH EIN NACHGESTELLTES MINUSZEICHEN GEKENNZEI - S
TABELLE 46

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

N & H . VERSUCHSREIHE 2

VER- (ANGABEN IN GRAD CELSIUS)
SUCH (M = MITTELWERT, S = STANDARDABWEICHUNG)
NR.

	MESSUNG BEI ELEMENT							M / S	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	01.9	01.9	01.9	02.2	02.0	02.0	02.0	01.99	00.11
2	01.8	01.8	01.8	01.8	01.8	01.9	01.8	01.81	00.04
3	02.1	02.0	03.1	03.2	03.1	02.8	02.7	02.71	00.49
4	01.5	01.5	01.5	01.8	01.7	02.0	02.0	01.76	00.22
5	02.6	02.6	02.5	02.5	02.6	02.6	02.6	02.57	00.05
6	02.8	02.8	03.0	03.0	02.8	03.3	03.3	03.00	00.22
7	02.7	02.7	02.6	02.7	02.8	03.1	03.0	02.80	00.18
8	03.0	03.1	03.0	02.9	02.8	03.1	03.1	03.00	00.12
9	02.9	02.9	03.0	03.0	02.9	02.9	02.9	02.93	00.05
10	02.8	02.8	02.8	02.8	02.8	02.9	02.9	02.83	00.05
11	02.9	02.9	02.9	02.8	02.9	03.0	03.1	02.93	00.10
12	03.2	03.4	03.3	03.4	03.4	04.0	03.9	03.51	00.31
13	03.2	03.3	03.4	03.2	03.2	03.4	03.3	03.29	00.09
14	03.9	03.9	04.0	03.9	04.0	04.0	03.9	03.94	00.05
15	03.8	03.7	03.4	03.4	03.3	03.4	03.4	03.49	00.19
16	04.4	04.3	04.0	04.1	04.1	04.2	04.3	04.20	00.14
17	04.0	03.9	04.0	03.9	03.8	03.9	03.9	03.93	00.10
18	03.9	03.8	03.8	03.7	03.7	03.9	03.8	03.80	00.08
19	03.7	03.6	03.6	03.5	03.4	03.4	03.4	03.51	00.12
20	03.8	04.1	03.9	03.7	03.6	03.7	03.8	03.80	00.16
21	03.4	03.4	03.4	03.1	03.2	03.2	03.3	03.29	00.12
22	03.4	03.5	03.3	03.2	03.3	03.4	03.4	03.36	00.10
23	04.0	04.0	04.0	03.4	03.5	03.6	03.6	03.73	00.26
24	03.9	03.8	03.7	03.1	03.0	03.0	03.0	03.36	00.42
25	03.7	03.7	03.6	03.5	03.6	03.7	03.8	03.66	00.10

MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG BEI ELEMENT NR.

	1	2	3	4	5	6	7
M	03.17		03.19		03.09		03.21
		03.18		03.11		03.22	
S	00.77		00.70		00.62		00.64
		00.76		00.60		00.62	

ZUSAMMENFASSUNG ALLER 175 WERTE

M	03.17
S	00.67

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

W & H, VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN GRAD CELSIUS)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
SPRAY	:	24.7	24.0	25.9	24.2	24.5
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
SPRAY	:	24.2	24.3	24.4	25.0	24.2
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
SPRAY	:	24.1	25.0	26.1	27.1	27.4
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
SPRAY	:	27.5	27.7	27.1	27.1	27.0
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
SPRAY	:	27.1	27.0	26.4	26.5	26.1
MITTELWERT	:	25.78				
STANDARDABW.	:	1.32				

TABELLE 48

VERSUCHSDAUER

W & H, VERSUCHSREIHE 2

(ANGABEN IN MINUTEN UND 1/10 MINUTEN)

VERSUCH NR.	:	1	2	3	4	5
DAUER	:	2.2	2.6	2.1	2.2	2.7
VERSUCH NR.	:	6	7	8	9	10
DAUER	:	3.4	2.5	2.3	2.4	2.5
VERSUCH NR.	:	11	12	13	14	15
DAUER	:	2.4	2.2	2.2	2.0	2.2
VERSUCH NR.	:	16	17	18	19	20
DAUER	:	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3
VERSUCH NR.	:	21	22	23	24	25
DAUER	:	2.3	2.6	2.6	2.7	2.9
MITTELWERT	:	2.41				
STANDARDABW.	:	0.30				

TABELLE 49

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - ELEMENT 8

K A V O

und

PRÜFKÖRPERVERMESSUNG

Versuchsreihe 2

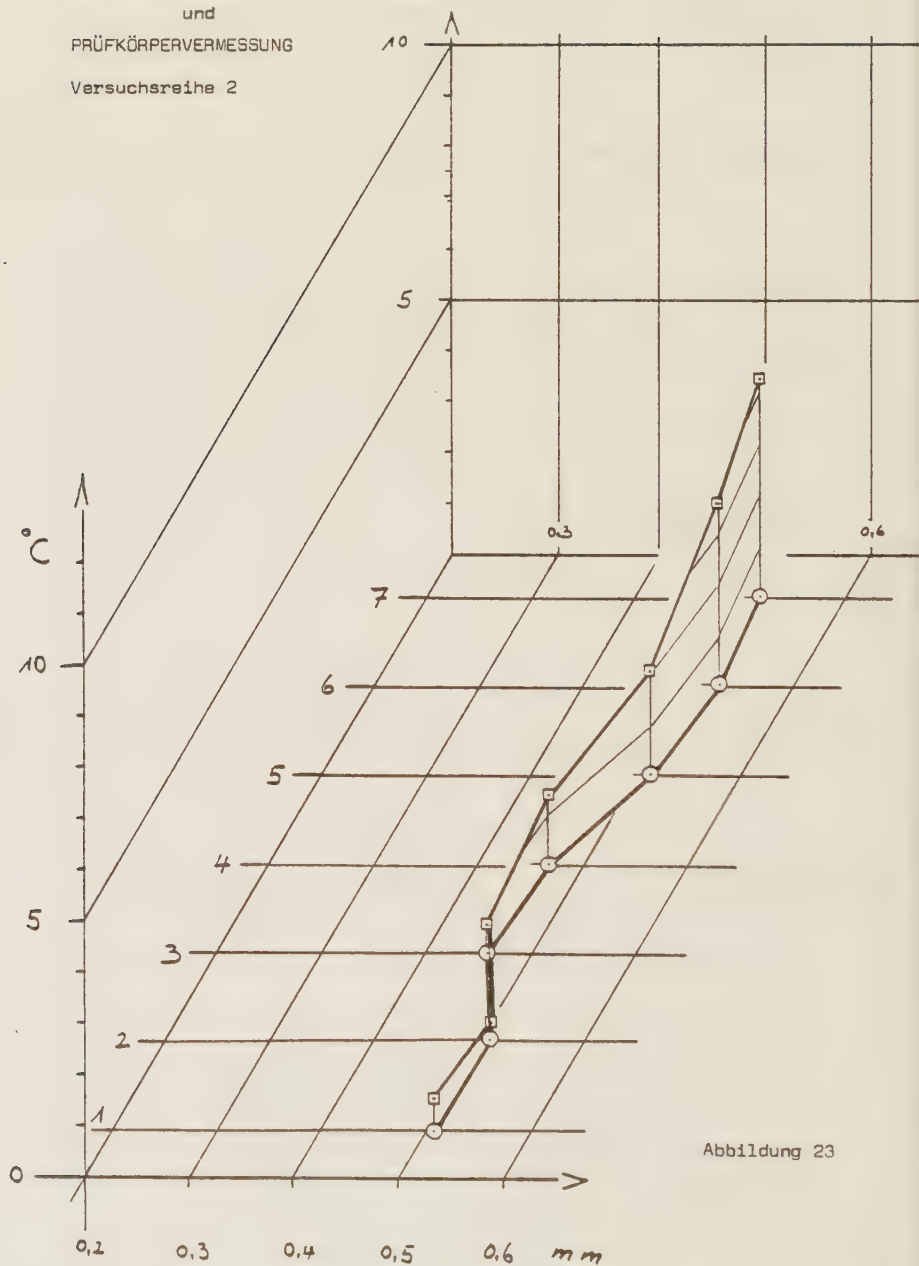


Abbildung 23

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - ELEMENT 8

M I C R O - M E G A

und
PRÜFKÖRPERVERMESSUNG

Versuchsreihe 2

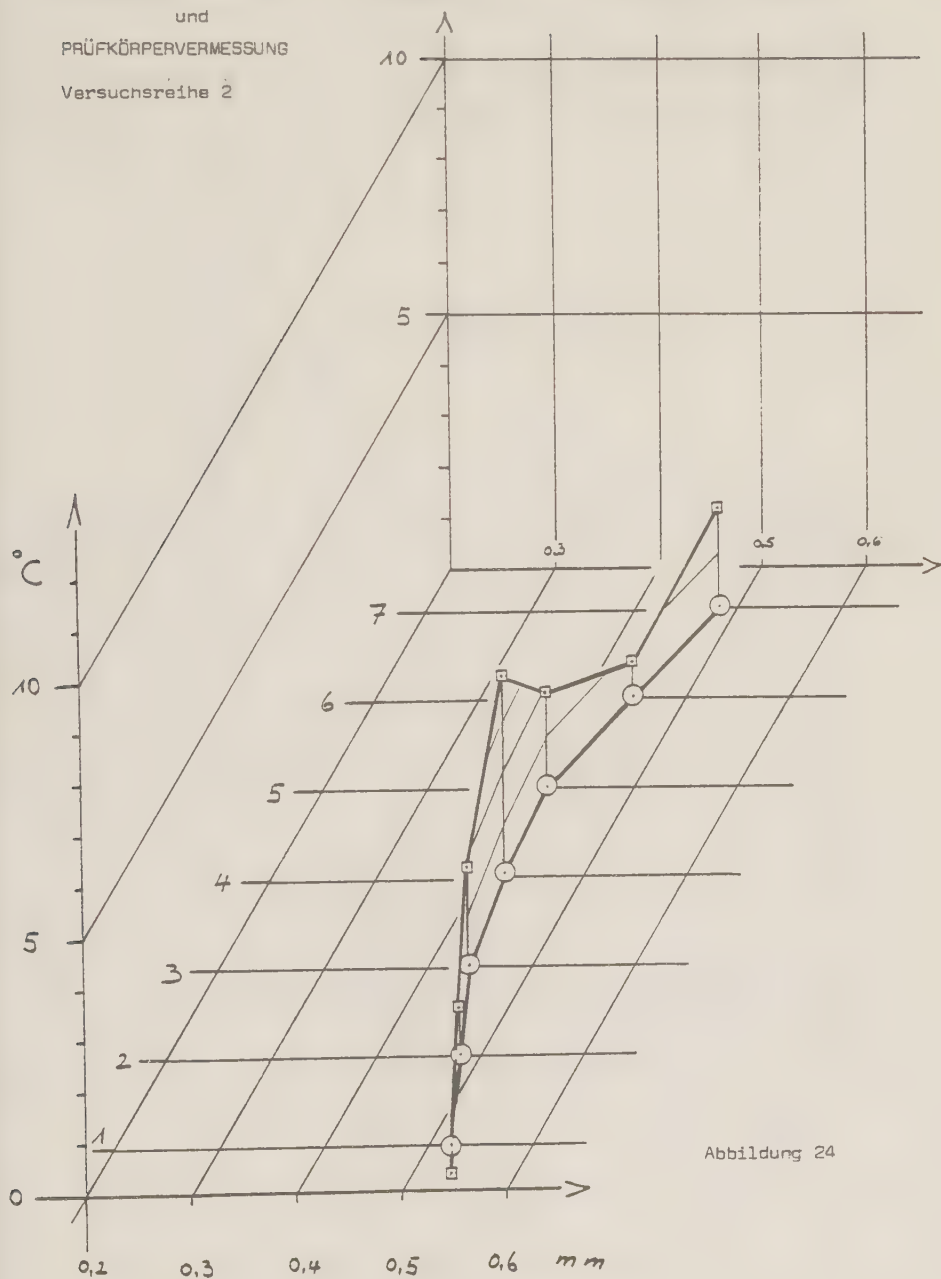


Abbildung 24

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - ELEMENT 8

W & H

und

PRÜFKÖRPERVERMESSUNG

Versuchsreihe 2

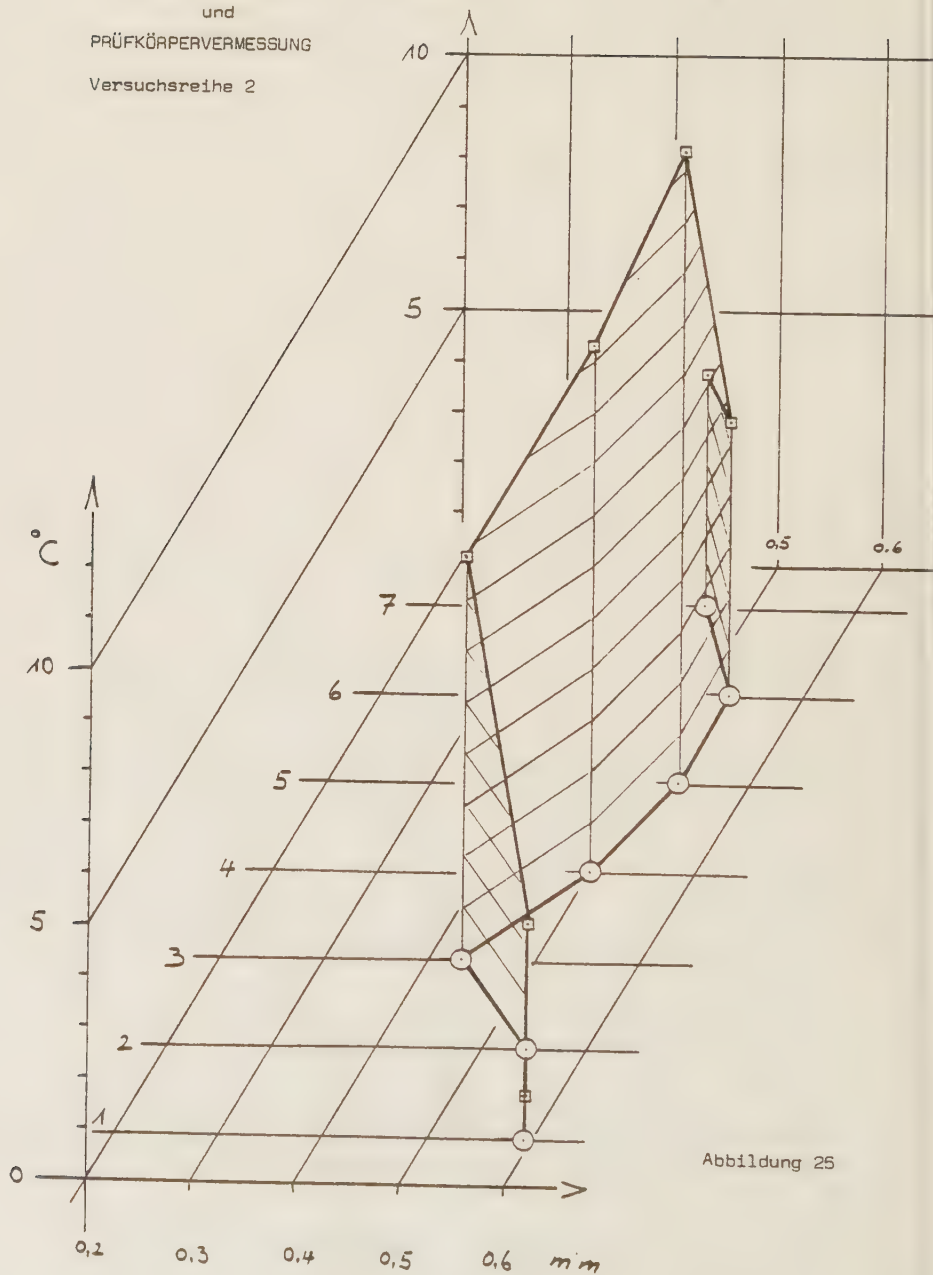


Abbildung 25

2.3.4.1.

Einzelsergebnisse

In der Tabelle 51 sind von der Zusammenfassung der sieben Messorte innerhalb der 25 Versuche des jeweiligen Winkelstuecks folgende Werte der drei untersuchten Fabrikate gegenebenenestellt:

- 1.) Der niedrigste Wert (Min.) und das Thermostoelement, an dem er auftrat (El. 1-7) bzw. der Versuch (V. ...)
- 2.) Der hoechste Wert (Max.) und das Thermostoelement, an dem er auftrat (El. 1-7) bzw. der Versuch (V. ...)
- 3.) Der Mittelwert aller 175 Einzeldaten der 25 Versuche (M.).
- 4.) Die Standardabweichung von M. (S.).

Die Messdaten der Elemente 1-7 lassen sich nicht unmittelbar miteinander vergleichen, da die unterschiedlichen Anfangstemperaturen der Versuche noch nicht beruecksichtigt sind. Allerdings erscheinen die Werte des W & H Winkelstuecks bemerkenswert. Es finden sich 15 Einzelwerte, die ueber 42 °C liegen, einer Temperatur also, die bereits als schaedigend fuer die Zahnwebe anzusehen ist. Bei Kavo und Micro-Mesa findet sich jeweils nur ein Wert ueber 42 °C.

Fuer die Messdaten der Elemente 8 gilt ebenfalls, dass die verschiedenen Ausgangstemperaturen noch nicht beruecksichtigt sind. Zu beachten ist, dass die Temperaturen am Schaft der Winkelstuecke nicht hoeher als 40.5 °C bei einer Spraytemperatur von 33.4 °C (Micro-Mesa, Vers. 5) bei den Einzelwerten lag und dass der hoechste Mittelwert mit 32.4 °C bei durchschnittlich 28.6 °C Spraytemperatur vom Micro-Mesa Winkelstueck am Messort 1 erreicht wurde. Es finden sich also durchwegs Temperaturen, die als normal bezeichnet werden koennen. Eine uebermaessige Erwaermung der Winkelstuecke koennte auch bei dieser Versuchsreihe in keinem Fall beobachtet werden.

Betrachtet man die Standardabweichungen der Schafttemperaturen innerhalb der einzelnen Versuche, so stellt man auch in dieser Versuchsreihe verhaeltnismaessig geringe Werte fest (maximal 1.48 bei Kavo (Vers. 15), 1.73 bei Micro-Mesa (Vers. 3) und 0.49 bei W & H (Vers. 3)), was wieder fuer eine gute Konstanz der Versuchsbedingungen auf Seiten der Spraytemperaturen spricht.

Übersicht Auswertung Versuchsreihe 2 (Tabelle 50)

WERT FABRIKAT (ELEMENT NR. / VERSUCH NR.)

KAYO

MICRO-MEGA

W & H

MESSDATEN ELEMENTE 1 - 7

Min.	31.4 (El. 2)	31.4 (El. 1)	29.8 (El. 1)
Max.	35.67 (El. 7)	36.1 (El. 4)	41.2 (El. 5)
M.	32.98	33.74	35.17
S.	2.92	2.48	6.16

MESSDATEN ELEMENT 8

Min.	31.8 (El. 1)	32.8 (El. 1)	28.9 (El. 5)
Max.	31.4 (El. 7)	32.4 (El. 7)	29.8 (El. 6)
M.	31.15	32.24	28.95
S.	2.71	2.82	1.86

DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPRAY

Min.	5.4 (El. 2)	2.8 (El. 1)	4.1 (El. 1)
Max.	9.6 (El. 7)	7.4 (El. 4)	15.4 (El. 5)
M.	6.94	5.11	9.38
S.	2.67	1.88	5.96

DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7

Min.	- 4.3 (El. 7)	- 3.8 (El. 4)	- 12.3 (El. 5)
Max.	- 8.2 (El. 2)	0.6 (El. 1)	- 8.9 (El. 1)
M.	- 1.83	- 1.51	- 6.22
S.	2.39	1.72	5.95

DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPRAY

Min.	5.8 (El. 1)	3.3 (El. 1)	3.1 (El. 5)
Max.	5.3 (El. 7)	3.7 (El. 7)	3.2 (El. 6)
M.	5.11	3.68	3.17
S.	2.27	1.82	8.67

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR

Min.	22.2 (V. 2)	25.4 (V. 23)	24.0 (V. 2)
Max.	38.3 (V. 1)	33.4 (V. 5)	27.7 (V. 17)
M.	26.84	28.63	25.78
S.	1.51	1.56	1.32

VERSUCHSDAUER (in Minuten u. 1/10 Minuten)

Min.	1.5 (V. 1)	2.9 (V. 2 u. 5)	2.1 (V. 3)
Max.	3.5 (V. 19)	4.2 (V. 3)	3.4 (V. 6)
M.	2.63	3.38	2.41
S.	0.43	0.32	0.38

Die Differenz der Elemente 1-7 - Seras gibt die maximale Temperaturerhöhung an den entsprechenden Messorten im Verlauf des Versuchs gegenüber der Anfangssprautemperatur an. Als höchsten Einzelwert finden wir eine Erhöhung um 49.8°C auf 74.3°C bei einer Serastemperatur von 24.2°C in Versuch 6 beim Winkelstück W & H. Der höchste Durchschnittswert lässt sich mit 15.4°C Erhöhung bei durchschnittlichen Serastemperaturen von 25.9°C am Messort 5 ebenfalls bei W & H feststellen.

Betrachtet man die Werte der Prüfkörpervermessung an den Stellen an denen Temperaturen über 42°C hinauswiesen, so findet man keinen Zusammenhang in der Weise, dass besonders hohe Temperaturen besonders bei dünnen Ellenbeinschichten auftreten (Abb. 23-25). An den genannten Stellen beträgt die durchschnittliche Schichtdicke 0.521 mm ($\bar{S} = 0.1361$), was sogar geringfügig über dem Durchschnitt aller Versuche liegt. Für den Versuch mit der höchsten gemessenen Temperatur von 74°C (Vers. 6, El. 5) finden wir eine Schichtdicke von 0.73 mm , also mehr als 0.2 mm mehr als der Gesamtdurchschnitt.

Mit dieser Betrachtung soll verdeutlicht werden, dass das Auftreten hoher Temperaturen nicht etwa durch unsymmetrisches Einspannen der Prüfkörper verursacht wurde. Die Prüfkörper waren durchschnittlich am Messort 3 am dünnsten (0.432 mm). Temperaturerhöhung gegenüber Element 8: 7.82°C , die höchsten durchschnittlichen Temperaturerhöhungen fanden sich aber mit 12.26°C über der Schafttemperatur des Winkelstücks am Messort 5, wo die Schichtdicke im Mittel bei 0.536 mm lag.

Es darf daher angenommen werden, dass die Temperaturentwicklung im Seraschatten von Einduesenkuehlssystemen eine gewisse Unberechenbarkeit in sich birgt. Dieser Befund hat für die Anwendung von Einduesenserras unter klinischen Bedingungen ein besonderes Gewicht, weil sich diese Unberechenbarkeit schon unter experimentellen Bedingungen, also bei präziser Föhrung und unter kontrolliertem Andruck des Winkelstücks, gezeigt hat. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass unter klinischen Bedingungen weit häufiger für die Zahnsewebe schädliche Temperaturen auftreten.

Die Werte der Differenz Element 5 - Elemente 1-7 wurden schon als Temperaturerhöhung über die Schafttemperatur erwähnt. Negative Werte bedeuten, dass die gemessene Temperatur über der des Winkelstückschafftes lag.

Zur besseren graphischen Darstellung wurden bei den Abbildungen 23 bis 25 die positive Werte der Temperaturdifferenz verwendet, also die Differenz Elemente 1-7 - Element 5.

Hohe Werte bedeuten hier (im Gegensatz zu den Abb. 14-16 der Versuchsreihe 1) auch hohe Temperaturen ueber der Schafttemperatur, die auch hier wieder als Basis genommen wurde.

Die Werte fuer die Differenz Element 3 - Spray, Anfangsspraytemperatur und Versuchsdauer erlauben einen Einblick in weitere Versuchsparameter und sind bereits erlaeutert worden. Die Versuchsdauer laesst wegen des geringeren Durchmessers der Pruefkoerper niedriger als bei der ersten Versuchsreihe.

2.3.4.2.

Zusammenfassende Beurteilung der zweiten Versuchsreihe

Mit der Versuchsanordnung wurden unter experimentellen Bedingungen die beim Beschleifen einer Krone zu erwartenden Temperaturen unter Verwendung unterschiedlicher Spraykuehl-systeme untersucht.

Die hoechste, im Inneren des Pruefkoerpers gemessene Temperatur betrug 74.0°C (W & H, Versuch 6, Element 5) bei einer Sprastemperatur von 24.2°C . Es fanden sich bei dem W & H - Winkelstueck mit nur einer Sprayduese weitere 15 Einzelwerte, die ueber 42°C lagen, waehrend bei den Winkelstuecken mit zwei (Micro-Mesa) und drei (Kavo) Spraydusen jeweils nur ein solcher Wert ermittelt werden konnte.

Ein Vergleich mit den Werten aus der Pruefkoerpervermessung zeigt, dass beim Einduesenspray an den Messorten an denen hoehere Temperaturen gemessen worden sind, die Schichtdicke zwischen Schleifstelle und Thermoelment durchschnittlichen Werten entspricht.

Aus diesem Grunde wird die Abschattung des Spraystrahles fuer das Auftreten erhoehter Temperaturen verantwortlich gemacht. Besonders deutlich wird dies auch daran, dass sofort wieder normale Temperaturwerte erreicht werden, sobald der Spraystrahl wieder den Diamanten und die Schleifstelle erreicht.

Die aufgezählten Befunde lassen die Verwendung von Einduesenkuehlssystemen zum Beschleifen von Kronen sehr bedenklich erscheinen. Die experimentellen Bedingungen einer praezisen Fuehrung des Winkelstuecks und eines konstanten Andrucks sind klinisch nicht realisierbar. Vielmehr muss davon ausgesessen werden, dass auch hoehere Werte fuer den Andruck zur Anwendung kommen und dass das Winkelstueck unter ungenuestigen Bedingungen "hakt", d. h. nur an einer Stelle arbeitet. Die Waerscheinlichkeit unter klinischen Bedingungen die Zahn-gewebe thermisch zu schaedigen ist deshalb nach meinem Da-fuerhalten unter klinischen Bedingungen groesser als hier in den Versuchen.

Auch bei dieser Versuchsreihe koennen keine uebermaessigen Temperaturen an den Winkelstuecken selbst gemessen werden. Die hoechste Einzeltemperatur liest bei 40,5 °C (Micro-Mesa Vers. 5.11.1) der hoechste Gesamtdurchschnittswert findet sich ebenfalls mit 32,14 °C und durchschnittlichen Sensor-temperaturen von 26,63 °C bei Micro-Mesa.

Beruecksichtigt man die unterschiedlichen Anfangssprachtemperaturen, so erwaermt sich das Winkelstueck von Kavo um durchschnittlich 3,3 °C, das von Micro-Mesa um 3,7 °C und das von W & H um 3,1 °C beziehungsweise dem Sensor.

5.1.4.3.

Besondere Beobachtungen

Besonders an den Werten fuer die Differenz Elemente 1-7 - Sensor wird ein ansteigendes Temperaturniveau waehrend des Versuchslaufs als die Tendenz zahlreicher Versuche deutlich. Es wird angenommen, dass sich hier die Erwaermung des gesamten Pruefkoerpers im Verlauf des Versuchs widerspiegelt. Danach haette sich der Pruefkoerper bei allen Fabrikaten um etwa 3 bis 4 °C im Verlauf des Versuchs erwaermt. Bei der ersten Versuchsreihe koennte eine solche Beobachtung nicht gemacht werden, was auf die anwaermeren Pruefkoerper zurueckgefuehrt wird.

Waehrend der zweiten Versuchsreihe musste ein Winkelstueck von Kavo wegen einer Verstopfung der Spritzduesen ausgetauscht werden.

Ein Winkelstueck von W & H fiel trotz sorgfaeltiger Pflege wegen eines defekten Zahnkranzes auf einem der Ueber-setzungszahnraeder vollstaendig aus.

Bei Micro-Mesa wurde nach wie vor das Austreten von Deltatronen aus dem Winkelstueckkopf beobachtet.

2.3.4.4.

ZUSAMMENFASSUNG ALLER VERSUCHSERGEBNISSE
(Tabelle 51)

PRUEFKOERPERVERMESSUNG (Millimeter)

ELEMENT:	1	2	3	4	5	6	7	M
K I	0.303	0.307	0.419	0.438	0.403	0.308	0.226	0.353
MM I	0.345	0.380	0.396	0.406	0.402	0.348	0.280	0.365
W&H I	0.329	0.346	0.364	0.368	0.398	0.361	0.298	0.352
K II	0.511	0.513	0.458	0.470	0.513	0.528	0.518	0.502
MM II	0.522	0.483	0.443	0.422	0.416	0.450	0.482	0.460
W&H II	0.593	0.545	0.432	0.505	0.538	0.534	0.462	0.515

VERSUCHSDAUER (Minuten)

VERSUCHSREIHE	I	II
KAVO	6.29	2.63
MICRO-MEGA	6.40	3.38
W & H	5.88	2.41

ANFANGSSPRAYTEMPERATUR (Grad Celsius)

VERSUCHSREIHE	I	II
KAVO	27.83	26.04
MICRO-MEGA	28.68	28.63
W & H	25.27	25.78

MESSDATEN ELEMENTE 1-7 (Grad Celsius)

K I	30.16	29.93	29.77	30.22	30.18	30.43	29.99	30.10
MM I	30.68	30.58	30.81	31.68	31.27	31.28	30.58	30.98
W&H I	28.79	28.72	28.12	29.08	28.90	28.45	27.50	28.51
K II	31.66	31.39	31.60	32.45	33.18	34.85	35.67	32.98
MM II	31.40	33.26	34.16	36.08	34.02	32.98	34.28	33.74
W&H II	29.83	31.39	36.79	39.15	41.16	34.34	33.49	35.17

Fortsetzung auf Tabelle 52

K I / K II = KAVO, Versuchsreihe I / II
 MM I / MM II = MICRO-MEGA, Versuchsreihe I / II
 W&H I / W&H II = W & H, Versuchsreihe I / II

Bei der Pruefkoerpervermessung sind die Mittelwerte von je 25 Versuchen fuer die einzelnen Elemente anzugeben.

Bei der Versuchsdauer und der Anfangsspraytemperatur sind die Mittelwerte von je 25 Versuchen anzugeben.

(Tabelle 52)

ELEMENT	1	2	3	4	5	6	7	M
MESSDATEN ELEMENT 8 (Grad Celsius)								
K I	34,24	34,17	34,29	34,30	34,33	34,30	34,35	34,28
MM I	32,01	32,01	32,06	32,07	32,39	32,32	32,11	32,17
W&H I	29,35	29,52	29,55	29,56	29,66	29,72	29,62	29,57
K II	31,00	31,06	31,08	31,10	31,16	31,26	31,36	31,15
MM II	31,37	31,33	32,15	32,24	32,32	32,31	32,36	32,24
W&H II	28,96	28,96	28,97	28,89	28,87	29,30	28,99	28,95
DIFFERENZ ELEMENTE 1-7 - SPERRY (Grad Celsius)								
K I	2,32	2,10	1,94	2,39	2,34	2,60	2,15	2,26
MM I	2,00	1,89	2,12	2,39	2,58	2,59	1,69	2,30
W&H I	3,52	3,45	2,65	3,81	3,63	3,13	2,22	3,24
K II	5,62	5,35	5,75	6,42	7,14	8,62	9,63	6,94
MM II	2,76	4,63	5,53	7,44	5,39	4,35	5,64	5,11
W&H II	4,04	5,60	11,01	13,37	15,37	8,56	7,70	3,38
DIFFERENZ ELEMENT 8 - ELEMENTE 1-7 (Grad Celsius)								
K I	4,08	4,24	4,52	4,07	4,15	3,66	4,35	4,19
MM I	1,32	1,44	1,25	0,68	1,12	1,04	1,53	1,19
W&H I	0,56	0,79	1,42	0,47	0,76	1,27	2,12	1,06
K II	-0,66	-0,32	-0,52	-1,35	-2,31	-3,58	-4,31	-1,83
MM II	0,58	-0,93	-1,37	-3,83	-1,60	-0,66	-1,92	-1,51
W&H II	-0,87	-2,42	-7,82	-10,26	-12,28	-5,34	-4,50	-6,22
DIFFERENZ ELEMENT 8 - SPERRY (Grad Celsius)								
K I	6,40	6,34	6,45	6,46	6,50	6,46	6,51	6,45
MM I	3,32	3,34	3,38	3,59	3,71	3,63	3,42	3,49
W&H I	4,08	4,24	4,28	4,28	4,39	4,45	4,34	4,30
K II	4,97	5,02	5,04	5,06	5,13	5,13	5,32	5,11
MM II	3,34	3,70	3,56	3,61	3,59	3,68	3,72	3,60
W&H II	3,17	3,18	3,18	3,11	3,09	3,22	3,22	3,17

K I / K II = KAVO, Versuchsreihe I / II

MM I / MM II = MICRO-MEGA, Versuchsreihe I / II

W&H I / W&H II = W & H, Versuchsreihe I / II

Angegeben sind die Mittelwerte von 25 Versuchen fuer die jeweiligen Elemente und unter 'M' der Mittelwert von 25 Versuchen des jeweiligen Fabrikats.

3.

DISKUSION

Die Versuchssanperatur der ersten Versuchsreihe simulierte das Anlesen einer flachen, 2 mm tiefen Kavitaet. Dabei konnten keine hoeheren Temperaturen als 36.1°C am Pruefkoerper gemessen werden.

Als Basiswert fuer die Versuche wurde die Spruotemperatur am Anfang der Versuche und die Temperatur am Schaft der Winkelstuecke genommen, damit die Kuehlleistungen der Winkelstuecke miteinander verglichen werden koennen.

Die geringste Kuehlleistung zeigte dabei das Winkelstueck mit einer Sprueduese. Bei ihm konnte sich der Pruefkoerper in einem Bereich mit Spruebehinderung um durchschnittlich 3.8°C erwaermen. Beim Zweiduesenspray wurden dagegen 3.0°C und beim Dreiduesenspray 2.4°C ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass beim Einduesenspray schon bei dieser geringen Kavitaetentiefe Unterschiede durch die Behinderung des Spruezutritts erfolgen.

Die gefundenen Unterschiede sind allerdings so gering, dass sie nur unter experimentellen Bedingungen von Bedeutung sind. Unter klinischen Bedingungen duerften beim Anlesen zentraler Kavitaeten und einer ausreichenden Menge Spruewassers in der Kavitaet keine Unterschiede zwischen den Kuehlsystemen mit unterschiedlicher Duesenzahl bemerkbar sein.

Insofern finden sich die Ergebnisse von HAHNE (30) bestaetigt. Auch die High-speed Filmaufnahmen von LAMPERT (33) kommen zu dem Ergebnis, dass beim Anlesen zentraler Kavitaeten eine Behinderung des Spruestrahls nur eine geringfuegige Beeintraehtigung des Kuehleffekts nach sich zieht, da dem Diamanten in der Kavitaet noch genug Wasser zur Verfuegung steht, was durch den sogenannten Pumpeffekt zur Schleifstelle befördert wird.

Weiterhin zeigt sich eine gute Uebereinstimmung mit den Untersuchungen von SCHULZ (58), der u. a. ebenfalls Temperaturmessungen beim Praeparieren von Kavitaeten mit 100000 U/min und 150 p Andruck vornahm. Er fand dabei eine Temperaturerhoehung um 3°C und schreibt besonders im Bezug auf den Andruck von 100 p: "Die durchsquelte, feuchte Kavitaet reicht also auch bei 150 p Andruck aus, um die entstehende Waermemenge abzufangen.". Allerdings werden bei SCHULZ auch die Grenzen der Kuehlsysteme angesprochen. Selbst bei der Verwendung von Zweiduesenspray beobachtet er Situationen, bei denen die Kavitaet zwar feucht, aber die vorhandene Waerremenge im Praeparationsfeld zu gering ist, wodurch der Waermeaustausch unzureichend ist und der Abtransport heissen Materials nicht mehr gewaehrleistet wird. Deshalb betont SCHULZ mehrfach, dass unter bestimmten Bedingungen (tief und tiefe Kavitaet) weder das blosse Einschalten des Spruees, noch die Anwendung geringerer Vorschubkrafte ausreichend seien, um das Markkorn weitgehend vor thermischen Schoeden zu bewahren.

Diese Feststellungen werden vor allem durch die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe der obliegenden Arbeit vollst. bestätigt.

Ferner, naemlich im Bezug auf tiefere Kavitaeten, darf die bereits erwachte Forderung von RAUBER (34) nach der Verwendung des Einduesenssprays verstanden werden. Auch er schreibt, dass sich ausreichende Kuenleffekte erst mit drei Sprachuesen realisieren lassen, da seinen Erkenntnissen zufolge nicht nur die Pulpa von Hitzeschaden zu bewahren ist, sondern auch thermische Schaedigungen des Dentins, wegen der damit verbundenen toxischen Abbauprodukte, vermieden werden muessen.

Die zweite Versuchsreihe simulierte das Beschleifen einer Krone. Dabei stand kein Sprachwasser mehr fuer den Pumpeffekt zur Verfuegung. Es wurde auch nicht (wie im Film von LAMPERT (33)) angenommen, dass sich in den Interdentalraeumen neues Wasser faenat oder dass vom Nachbarzahn noch ausreichend Wasser in Richtung auf die Praeparationsstelle reflektiert wird. Eine solche Situation wird ja auch regelmuessig bei der Praeparation endstaendiger oder einzeln stehender Pfeilerzaenne angetroffen.

Hier zeigten sich selbst unter Verwendung von drei Sprachuesen maximale Temperaturwerte von 42,4°C und bei zwei Sprachuesen von 45°C. Eindeutis am hoechsten lagen die Temperaturwerte beim Einduesensspray. Hier wurden Werte bis zu 74°C erreicht, 15 Einzeltemperaturen lagen ueber 42°C. Diese Temperatur darf, wie bereits unter 1.2.2.4. ausgefuehrt, als quibenschaedigend angesehen werden.

Die Daten der Pruefkoerpervermessung erlauben die Aussage, dass ein direkter Zusammenhang besonders hoher Temperaturen mit besonders duennen Schichten ueber den Thermoelementen nicht gesehen ist. Die Abschattung des Sprays aus nur einer Duese wird deshalb als wesentliche Ursache fuer das Auftreten unphysiologischer Temperaturen angesehen.

Ferner zeigten sich bei 9 von 25 Pruefkoerpern makroskopisch sichtbare Brandmarken. Sowohl waehrend der Versuche als auch bei dem Versuch, am Patienten eine Krone zu beschleifen, war ein brandiger Geruch spuerbar. Dazu findet sich bei HUNKIRCHEN (29) eine eindeutige Stellungnahme: "... die Sprachberieselung ist schon unangeuesend, wenn die Kavitaetenpraeparation mit dem geringsten, eben spuerbaren Geruch nach verbranntem Horn verbunden ist.". FUHR (17) aeussert sich dazu im gleichen Sinne.

Nun koennte man einwenden, dass es durch geeignete Handhaltung trotzdem gelinzt auch die distalen Zahnpartien mit Spray zu berieseln, um damit die Nachteile des Einduesenssprays zu kompensieren. Die berechtigten Forderungen der Behandler nach einfacher und sicherer Bedienbarkeit der Winkelstuecke sind dann aber nicht mehr erfuellt.

Bei den Versuchen wurde der Pruefkoerper kontinuierlich beschliffen. Das entspricht nicht den klinischen Praeparationsregeln (KETTERL, 29). Koennen die Nachteile des Einduesenssprays durch diskontinuierliches Schleifen umgangen werden?

Waehrend der Zeit, in der kein Kontakt des Diamanten mit der Zahnoberflaeche besteht, findet zwar keine direkte Waermefuehrung mehr statt, aber es wird deshalb (anders als bei Mehrduesenkuehlung) im Sprayschatten auch nicht wirksam gekuehlt. Die vorbeistreichende Luft und die Waermestrahlung des Zahnes spielen in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle, weil die Waermekapazitaet der Luft zu gering ist und die Waermestrahlung des Zahnes auch nur einen Bruchteil der entstandenen Waermemenge abfuehren kann. Immerhin entstehen nach HOFMANN (26) schon beim blossen Aufsetzen einer in der Turbine rotierenden Diamantkugel Temperaturen von 50 - 60 °C. Das Schleifen im Sprayschatten kommt somit dem Schleifen ohne jegliche Kuehlung - heute allgemein als nicht vertretbar anerkannt - recht nahe.

In gleicher Weise aeussert sich SCHULZ (58), indem er berichtet, dass intermittierendes Arbeiten zwar Abkuehlungsprozesse um mehr als 2 °C in Gang setzen koenne, aber grobe Fehler im praeparatorischen Vorgehen keinesfalls damit kompensiert werden koennen. Zusammenfassend stellt er fest: "Waehrend der Darstellung einer Kavitaet darf der Spraystrahl nicht an der Zahnoberflaeche abprallen, so dass es zu einer trockenen Kavitaet kommen kann.". Diesen Ausfuehrungen von SCHULZ kann nach den eigenen Erfahrungen und nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen nur in vollem Umfang zugestimmt werden.

Weitere Nachteile bietet das Einduesensystem wenn, wie allgemein ueblich, mit einer Absausanlage gearbeitet wird. Hier besteht nicht nur auf der dem Spraystrahl abgewandten Seite des Zahnes die Gefahr mangelhafter Kuehlung, sondern auch dort, wo der Spraystrahl durch die Absausanlage aus seiner urspruenglichen Richtung abgelenkt wurde, so dass er weder Zahn noch Schleifinstrument trifft.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen die Verwendung von Einduesenkuehlssystemen bei der Praeparation tiefer Kavitaeten und beim Beschleifen von Kronen im Hinblick auf die moeglichen thermischen Schaedisungen der Zahnsubstanz nicht empfehlenswert erscheinen. Die Unterschiede zwischen dem Zwei- und Dreiduesensystem sind nicht mehr so gravierend, obwohl auch bei zwei Sprayduesen noch gewisse Vorzuegsrichtungen fuer das Auftreten erhoelter Temperaturen zu bemerken sind. Auch andere Autoren koennen auf entsprechende Unterschiede hinweisen (58, 54, 60, 74, 42, 50, 51, 71, 37).

4.

ZUSAMMENFASSUNG

In Anlehnung an Untersuchungen von HAHNE (20), der die Leistungsfähigkeit von Ein- und Zweiduesenkuehlssystemen bei zahnaerztlichen Turbinen untersuchte, wurden mit den gleichen Versuchsanordnung sehnliche Untersuchungen zur Ermittlung richtungsabhaengiger Unterschiede in der Leistungsfähigkeit von Ein-, Zwei- und Dreiduesenkuehlssystemen bei sogenannten roten Winkelstuecken durchgefuehrt.

Die Versuche wurden bei einer Drehzahl von 100000 U/min und einem Andruck von 100 p durchgefuehrt. Die Spraytemperaturen lagen dabei in einem Bereich zwischen 25 und 30 °C.

Als Winkelstuecke standen zur Verfuegung:

"Kavo", Kaltenbach & Voigt, Biberach
Winkelstueck 23 B, mit innenliegender Sprayfuehrung
FG-Spannfutter, Dreiduesenspray

"Micro-Mesa", Micro-Mesa, Genf / Bad Homburg
Winkelstueck 2000 EI, mit innenliegender Spray-
fuehrung, FG-Spannfutter, Zweiduesenspray

"W & H", Dentalwerk Buermoos, Buermoos (Oesterreich)
Winkelstueck 947/3-Y, mit teilweise innenlie-
sender Sprayfuehrung, FG-Spannfutter, Einduesenspray

Bei der ersten Versuchsreihe wurde das Anlesen einer flachen, zentralen Kavitaet simuliert. In einem Elfenbeinpruefkoerper wurde eine 2 mm tiefe Ringsnut nach aussen erweitert, so dass zwischen der Schleifstelle und den sieben, um den Pruefkoerper herum angeordneten Thermoelementen, noch eine Schicht von 0.3 bis 0.4 mm Elfenbein verblieb. Mit den Thermoelementen, deren Messbezirke vom Spray waehrend der Versuche aus unterschiedlichen Richtungen getroffen wurden, konnte jeweils die maximale Temperatur an der Beruehrungsstelle Thermoelement - Pruefkoerper ermittelt werden. Nach den Versuchen wurde an den Pruefkoernern die noch ueber jedem Thermoelement verbliebene Schichtdicke vermessen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen richtungsabhaengige Unterschiede der drei Kuehlssysteme. Eine klinische Bedeutung wird diesen Unterschieden von weniger als 4 °C aber nicht beigemessen, da sich in der Regel beim Anlesen denartiger Kavitaeten ausreichend Wasser im Praeparationsbereich befindet, um auch bei Behinderung des Sprayzutritts eine Kuehlung der Schleifstelle sicherzustellen.

Fuer eine zweite Versuchsreihe wurden die Pruefapparatur und die Pruefkoerper modifiziert. Die Justier- und Resistiermoeglichkeiten an der Pruefapparatur wurden verbessert. Die Pruefkoerper und ihre Anordnung zum Schleifkoerper wurden so besaendert, dass eine, dem Beschleifen einer Zahnkrone entsprechende Situation simuliert werden konnte. Fuer das Einduesenkuehl-system trat jetzt eine gewisse Abschattung des Spraastrahls an den Stellen des Pruefkoerpers ein, die der Spraauese abgewandt waren. Die sieben Thermoelemente wurden in das Innere der Pruefkoerper verlest.

Bei den Versuchen wurden im Spraaeschatten des Einduesenkuehl-systems am Pruefkoerper Temperaturen bis zu 74°C resistriert. Die mittlere Entfernung zwischen Schleifstelle und Thermoelement betrug hier 0.5 mm . An 9 von 25 Pruefkoerpfern, die mit dem Einduesen - Winkelstueck beschliffen wurden, waren makroskopisch Brandmarken sichtbar. 15 mal wurde mit dem Einduesenspray bei 25 Versuchen die Temperatur von 42°C ueberschnitten, so dass im Spraaeschatten eine mittlere Temperatur von 41.2°C bzw. eine durchschnittliche Temperaturerhoehung um 15.4°C gegenueber der mittleren Spraytemperatur von 25.8°C bei diesem Winkelstueck errechnet wurde. Ohne Differenzierung nach der Spraarichtung ergibt sich als Durchschnitt aller gemessenen Temperaturen 35.2°C , also eine durchschnittliche Erhoehung um 9.4°C gegenueber dem Spray. Bei zwei Spraauesen wurden maximal 45.0°C gemessen. An fuer den Spray offenbar unsuenstigen Messorten wurden durchschnittlich 36.1°C ermittelt, was bei einer durchschnittlichen Spraytemperatur von 28.6°C einer Erhoehung um 7.4°C entspricht. Alle Messwerte zusammen ergeben einen Durchschnitt von 33.7°C , also eine Temperaturerhoehung um 5.1°C gegenueber dem Spray ohne Beruecksichtigung der Spraarichtung.

Beim Dreiduesenspray wurden maximal 42.4°C erreicht. Es fanden sich in der unsuenstigen Spraarichtung mittlere Temperaturen von 35.7°C , also eine Temperaturerhoehung um 9.6°C bei Spraytemperaturen von durchschnittlich 26.0°C . Unabhaengig von der Spraarichtung ergab sich als Gesamtdurchschnitt 33.0°C bzw. eine Erwaermung um 6.9°C gegenueber dem Spray.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen die Verwendung von Einduesenkuehl-systemen fuer zahnarztliche Schnellaufwinkelstuecke bei der Praeparation von tiefen Kavitaeten und beim Beschleifen von Kronen im Sinne einer die Zahn-gewebe schonenden Behandlung nicht empfehlenswert erscheinen.

5.

LITERATURVERZEICHNIS

1. DE AFFRILE, E. I.
Effect of heat on the dental pulp
Brit. Dent. J. 74, 322-323, (1943),
zit. bei Gesterle (42)
2. BÄHR, R.
Persönliche Mitteilungen vom 19.3.1958
Laborleiter d. Fa. Hader & Meisinger, Duesseldorf)
3. BODENMUELLER, T. J. u. CASTAGNOLA, L.:
Kavitationskavitation mit dem Body-Bone
Schweiz. Monschr. f. Zahnheilk. Bd. 64 No. 2, 109-
128, (1954)
4. BOHLMANN, A.:
Untersuchungen zur Spannung der Zahnhartsubstanzen
mit umlaufenden Werkzeugen in verschiedenen Dreh-
zahlbereichen und bei unterschiedlichen Vorschub-
Ansetzen
in: Eichner, K. (Hrsg.), Normal-, hoch- und
hochstetionises Bohren und Schleifen von Zahnhart-
substanzen, S. 42-48
Carl Hansen, Muenchen 1966
5. BOLZ, U. u. KALWEIT, K.:
Vergleichende Untersuchungen zur Waermeentwicklung
mit innensekuehlten und konventionellen Knochen-
schneern und -fraesen
Dtsch. Zahnarztl. Z. 31, 959, (1976)
6. CLAESSENS, C. P. D.:
Welches ist beim Bohren und Schleifen die ideale
Drehzahl?
Dtsch. Zahnarztblatt 15, 125-132, (1961)
7. DAUSCH, H.:
Zur Frage der Feucht- oder Trockenkavitation des
vitalen Zahnes
Dtsch. Zahnarztl. Z. 10, 75-78, (1955)
8. DENTALWERK BUERMOOS:
Gebrauchsanleitung fuer das Winkelstueck 947/3-Y
9. DRUM, W.:
Warmes oder kaltes Kuehlwasser beim Airrotor?
Quintessenz 9/60, 43-45, (1960), Ref. Nr. 1479
10. EICHNER, K.:
Untersuchungen von Bohr- und Schleifvorgaengen an
Zahnhartsubstanzen mit Hilfe von kinematographi-
schen Zeitdehnungsaufnahmen

in: Eichner, K. (Hrsg.), Normal-, hoch und
hoechsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhart-
substanzen. S. 155-167
Carl Hansen, Muenchen 1966

11. FECHNER, U.:
Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim
normal-, hoch- und hoechsttourigen Bohren (Fraesen)
Dtsch. zahnaerztl. Z. 18, 135-146, (1963)
12. FIBIG, K. H.:
Untersuchungen ueber die Waermeentwicklung bei
Bohren unterschiedlicher Abnutzungssgrade
Dtsch. zahnaerztl. Z. 30, 14-19, (1975)
13. FUHR, K.:
Untersuchungen eines neuen zahnaerztlichen Bohrers
mit einem neuen Bohrerpruefgeraet
Med. Diss., Mainz 1954
14. FUHR, K.:
Zusammenfassende Darstellung unserer Erfahrungen
mit Schnellstlaufgeraeten
Zahnaerztl. Welt/Ref. 63, 244-248, (1962)
15. FUHR, K.:
Vergleichende Untersuchungen ueber die Temperatur-
verhaeltnisse beim zahnaerztlichen Bohren und
Schleifen
Dtsch. zahnaerztl. Z. 18, 986-991, (1963)
16. FUHR, K.:
Das Fuer und Wider des hoch- und hoechsttourigen
Schleifens
Dtsch. zahnaerztl. Z. 19, 951-960, (1964)
17. FUHR, K.:
Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Behand-
lung der Zahnhartsubstanzen unter Beruecksichti-
gung der Pulpenveraenderungen und der Periodontal-
reaktionen
Med. Habil.-Schr., Mainz 1964
18. GRIGULL, U.:
Versuche ueber die Temperaturerhoehung beim Bohren
und Schleifen von Zaehnen
Stoma 17, 247-260, (1964)
19. GARNIER, M u. HOHMANN, E.:
Die Elektro-Kleinstbohrmaschine, ein neuer Nieder-
und Mitteltouren-Antrieb
Zahnaerztl. Welt/Ref. 67, 16-17, (1966)

10. HAHNE, K.
Vergleichende Untersuchungen der Leistungsfähigkeit des Ein- und Zweiduesenssystems von zahnärztlichen Turbinen
Med. Diss., Mainz 1975
11. HALLER, G.
Experimentelle Untersuchungen zahnärztlicher Präparationsvorrichtungen unter Verwendung des Mikromotors
Med. Diss., Mainz 1968
12. HENSCHEL, C. J.
Development of the thermal control
J. Am. Dent. Ass. 33, 194-200, (1946)
13. HENSEL, H. u. MANN, G.
Temperaturschmerz und Wärmeleitung im menschlichen Zahn
Stoma 9, 76-79, (1956)
14. HETZHEIM, B. u. RITZ, W.:
Die Versorgungssysteme neuer zahnärztlicher Behandlungseinheiten unter hygienischen Gesichtspunkten
Med. Diss. Lahn-Giessen 1977
15. HOFMANN, M.:
Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum beim Beschleifen der Zähne
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 472-478, (1959)
16. HOFMANN, M.:
Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnnarstsubstanzen unter Verwendung der Turbine
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 584-590, (1961)
17. HOHMANN, E.:
Persönliche Mitteilungen, (August u. Sept. 1978)
(Entwicklungsingenieur d. Fa. Siemens, Bensheim)
18. HUNKIRCHEN, M.:
Ist die Präparation vitaler Zähne ohne ausreichenden Seras bei Anwendung hoher und höchster Umdrehungsgeschwindigkeiten zu verantworten?
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1301-1310, (1962)
19. KETTERL, W.:
Die Pulpen- und Wurzelbehandlung
in: Haunfelder, D.; Hupfau, L.; Kettenl, W.; Schmuth, G.; (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 1, A 12, (1972)

30. KIRSCHNER, H. u. MEYER, W.:
Entwicklung einer Innenkuehlung fuer chirurgische
Bohrer
Dtsch. zahnaerztl. Z. 30, 436-438, (1975)
31. KLOS, H. u. ROTTKE, R.:
Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturpro-
blem beim hoechsttourigen Bohren und Schleifen mit
Turbinengeräeten
Dtsch. zahnaerztl. Z. 15, 1659-1679, (1960)
32. KOCH, H.:
Untersuchungen ueber den Keimgehalt des Kuehl-
wassers eines zahnaerztlichen Behandlungsgeraetes
Med. Diss., Mainz 1978
33. LAMPERT, F.:
Das Kuehlsystem zahnaerztlicher Turbinen im
High-speed-Verfahren
Film, Tagung d. DGZMK Hamburg, 1974
34. LANGE LAND, K.:
Histologic evaluation of pulp reactions to opera-
tive procedures
Oral Surg., Med., Pathol. 12, 1235, (1959)
35. LISANTI, V. F. u. ZANDER, H. A.:
Thermal conductivity of dentin
J. Dent. Res. 29., 493-497, (1950)
36. LISANTI, V. F. u. ZANDER, H. A.:
Thermal injury to normal dog-teeth: in vivo
measurements of pulp temperature increases and
their effect on the pulp tissue
J. Dent. Res. 31, 548-558, (1952)
37. MAEGLIN, B.:
Auswirkungen der Kavitaetenpraeparation mit
hoechsten Geschwindigkeiten in histologischen
Untersuchungen
Schweiz. Monshr. Zahnheilk. 70, 877-881, (1960)
38. MAYER, A.:
Die Bedeutung experimenteller und klinischer
Untersuchungen ueber die hohen und hoechsten
Drehzahlen
Dtsch. zahnaerztl. Z. 19, 526-528, (1964)
39. MICRO-MEGA:
Bedienungsanleitung fuer das Winkelstueck co 2000

40. MUELLER, O.
Pathohistologie der Zähne
Basel 1947
41. MUELLER, O.
Experimentelle Untersuchungen ueber den Einfluss
der Wassermenge auf die Schleifleistung zahnärzt-
lichen Diamant-Schleifkörper
Med. Diss., Mainz 1956
42. NENTWIG, G.-H.
Die Kronenpräparation unter Berücksichtigung der
zur Zeit anerkannten Präparationssätze
Med. Diss., Köln 1975
43. OESTERLE, R.:
In-vitro-Untersuchungen zur Phase der Wassermeent-
wicklung beim Ausbohren von Amalgamfüllungen
Med. Diss., Tuebingen 1978
44. ONTRUP, D., STAWECKI, K.-J.; EICHNER, K.:
Übersicht ueber das deutsche und fremdsprachige
Schrifttum
in: Eichner, K. (Hrsg.), Normal-, hoch- und
hochsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhart-
substanzen. S. 183-197
Carl Hansen, Muenchen 1966
45. PANGIDIS, G.:
Temperaturmessungen bei der Entfernung von
Amalgamfüllungen
Med. Diss., Tuebingen 1971
46. PEYTON, F. A.:
Thermal changes developed during cutting of
tooth tissue
Font. Rev. Chicago dent. Soc. 20, 9, (1956).
47. PEYTON, F. A.:
Temperature rise in teeth developed by rotating
instruments
J. Am. Dent. Ass. 50, 629-632, (1955)
48. PEYTON, F. A. u. HENRY, E. E.:
The effect of high speed burs, diamond instruments
and air abrasive in cutting tooth
J. Am. Dent. Ass. 49, 426-435, (1954)
49. PFEIFER, K.-H.:
Untersuchungen ueber die Druckverhältnisse in den
Zentinkanaelen bei verschiedenartiger Bearbei-
tung der Zahnhartsubstanz
Med. Diss., Mainz 1973

50. FLISCHKA, G.:
 Ueber Rationalisation der Präparationsarbeit mit
 Diamantschleifinstrumenten
 Quintessenz 9/65, 161-165, (1965), Ref. 2735
51. POLMAN-MOODY, A.:
 Temperaturmessungen in Zahnhartschubstanzen bei nor-
 mal-, hoch- und hoechsttourisen Schleifen
 Dtsch. zahnaerztl. Z. 18, 130-135, (1963)
52. POHTO, M. u. SCHEININ, A.:
 Microscopic observations on living dental pulp
 I. Acta odont. scand. 16, 303, (1958) u.
 II. Acta odont. scand. 16, 315, (1958),
 zit. bei Fuhr (16, 17)
53. RATEITSCHAK, K., KOENIG, K., MUEHLEMAN, H.:
 Histologische Pulvareaktion auf hoch- und hoechst-
 tourise Kavitaetenpraeparation
 Schweiz. Monshr. Zahnheilk. 69, 477-487, (1959)
54. RAUBER, G.:
 Die Wirkung der Reibungswaerme auf das Dentin
 Dtsch. zahnaerztl. Z. 17, 806-811, (1962)
55. REICH, M.:
 Zur Entwicklung der zahnaerztlichen Bohrantriebe
 seit Morrison
 Med. Diss., Erlangen-Nuernberg 1980
56. RIETHE, P.:
 Praeparation und Pulpa
 Dtsch. zahnaerztl. Z. 24, 695-704, (1969)
57. SCHUBERT, L.:
 Temperaturmessungen im Zahn waehrend des Schleif-
 und Bohrvorganges mittels Lichtstrichsalvanometer
 Zahnaerztl. Welt/Ref. 58, 443-445, (1957)
58. SCHULZ, R. P.:
 Die optimale Onlay- und Inlay- Praeparation im
 Hinblick auf die thermische Belastbarkeit des
 Markkorpens
 Med. Diss. Koeln 1977
59. SIMON, U.:
 Vergleichende Messungen von handelsueblichen Bohr-
 maschinen und Turbinen
 Dtsch. zahnaerztl. Z. 34, 768-772, (1979)

58. STEIN, U.
Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen durch normal-, hoch- und höchsttourige Präparation
in: Eichner, K. (Hrsg.), Normal-, hoch und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen, S. 33-34
Carl Hanser, München 1966
59. STUEBEN, J.
Grundlagen der Temperaturmessung im Zahn
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 314-316, (1961)
60. STUEBEN, J.
Experimentelle Untersuchungen ueber die Waermeleitfahigkeit der Zahnhartsubstanzen sowie zahnärztlicher Werkstoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 25-31, (1962)
61. STUEBEN, J. u. HOPPE, W. F.:
Experimentelle Untersuchungen ueber die Temperaturveraenderung in der Zahnhartsubstanz beim hoechsttourigen Bohren und Schleifen
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 477-486, (1962)
62. STUEBEN, J. u. HOPPE, W. F.:
Experimentelle Untersuchungen ueber die Veraenderungen der Pulpa nach normal- und hoechsttourigem Schleifen und Bohren im histologischen Bild
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 601-611, (1964)
63. TITTKEMAYER, W.:
Die Präparation und Versorgung lebender Zahnhartsubstanzen
Zahnärztl. Welt/Ref. 58, 187-196, (1957)
64. TITTKEMAYER, W.:
Bohren und Schleifen in den drei Tourenbereichen mittels ueblicher elektrischer Bohrmaschinen
Zitat nach Sonderdruck Zahnärztl. Welt/Ref. 61, 1, (1960)
65. VAN DE WAA, C. D.:
High speed rotary instruments in operative dentistry: review of the literature
J. Am. Dent. Ass. 53, 296, (1956)

68. VIOHL, J.:
Untersuchungen ueber die Streuung der Abriebleistung turbinengetriebener disantierter Instrumente
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 154-157, (1963)
69. WALSER, G.:
Experimentell-physikalische Untersuchungen ueber das Bohren und Schleifen mit turbinengetriebenen Instrumenten bei hoechsten Drehzahlen
Med. Diss., Mainz 1959, Sonderdruck aus: Zahnärztl. Welt/Ref. Nr. 4/1960
70. WALSH, J. P. u. SYMMONS, H. F.:
Vibration perception in teeth during cavity preparation
New Zealand Dent. J. 45, 28, (1949),
71. WALTER, H.-G. u. LEINWEBER, G.:
Messungen mit Thermoelementen im Pulpenkavum extrahierter Zaehne bei Airrotor-Präparationen
Schweiz. Monshr. Zahnheilk. 70, 415-423, (1960)
72. WEDER, M.:
Ueber die Veraenderungen der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hoher Geschwindigkeit
in: Eichner, K. (Hrsg.), Normal-, hoch und hoechsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen. S. 92-102
Carl Hanser, Muenchen 1966
73. WHEATCROFT, M. G.; HARTNETT, J. E.; SMITH, W. E.:
Durch die Luftturbinen hervorgerufene Temperaturveraenderungen
Dent. Progress 1, 53, (1960)
74. WUPPER, H.:
Theorie und Praxis des zahnärztlichen Bohrens und Schleifens
Zahnärztl. Welt / Ref. 65, 162-164, (1964)
75. ZACH, L. u. COHEN, G.:
Pulpal response to externally applied heat
Oral Surg., Med., Pathol. 19, 515, (1965)

L E B E N S L A U F

Am 26. September 1950 wurde ich als erstes Kind des Kaufmanns Werner Pfuetze und der Hausfrau Hannelore Pfuetze geb. Krus in Chemnitz geboren.

Unsere Familie fluechtete im Laufe der Jahre 1951 bis 1952 aus der sowjetischen Besatzungszone in die Bundesrepublik Deutschland.

Mit Wirkung vom 4. September 1957 wurde unser Familienname amtlich in 'Pahlen' geaendert.

Von 1957 bis 1961 besuchte ich die Hindenburgschule in Menden / Sauerland und anschliessend das Staedtische Walram-Gymnasium in Menden, an dem ich im Juni 1970 das Abitur ableiste.

Von Juli 1970 bis Juni 1972 leistete ich meinen Wehrdienst bei der Bundeswehr im Sanitaetsdienst.

Von August 1972 bis Maerz 1973 arbeitete ich als Praktikant in einem Dentallabor in Iserlohn.

Im April 1973 begann ich mein Studium an der Johannes Gutenberg-Universitaet in Mainz im Fach Biologie, nahm aber in Ermangelung eines Studienplatzes extern an Lehrveranstaltungen und Praktika fuer Zahnmediziner teil.

Fuer das Sommersemester 1975 erhielt ich einen Studienplatz im Fach Zahnmedizin an der Friedrich-Wilhelms-Universitaet Bonn.

Ich wechselte aber wieder nach Mainz. Dort bestand ich am 17. September 1975 die naturwissenschaftliche Vorpruefung, am 7. April 1977 die zahnaerztliche Vorpruefung und am 19. November 1979 die zahnaerztliche Pruefung. Am 27. November 1979 erhielt ich meine Bestallung als Zahnarzt.

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Mitte 1978 bis Dezember 1980 angefertigt.

Seit Maerz 1980 arbeite ich als Assistent in einer zahnaerztlichen Praxis.

